

Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft,

Professur für Landwirtschaftliche Produktionsökonomik

der Justus-Liebig-Universität Gießen

**Ökonomische und arbeitswirtschaftliche Auswirkungen einer
Windauflage für gebeiztes Saatgut am Beispiel norddeutscher und
hessischer Standorte**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)

im Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökötrophologie und Umweltmanagement

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

M.Sc. Philip Rabenau

aus Gießen

1. Gutachter: Prof. Dr. Joachim Aurbacher

2. Gutachter: Prof. Dr. Christian Herzig

Gießen, 2026

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis.....	XII
Abkürzungsverzeichnis.....	XXI
Danksagung.....	XXIII
Eidesstattliche Erklärung.....	XXIV
1 Einleitung.....	1
1.1 Zielsetzung und Forschungsfragen.....	2
1.2 Vorgehensweise.....	3
2 Stand des Wissens.....	5
2.1 Arbeitszeitbedarf, Arbeits- und Produktionsverfahren und Kapazitätsplanung.....	5
2.1.1 Arbeitszeitbedarf.....	5
2.1.2 Arbeitsverfahren.....	6
2.1.3 Produktionsverfahren.....	7
2.1.4 Kapazitätsplanung und termingebundene Arbeitserledigung.....	7
2.2 Feldarbeitstage (FAT).....	8
2.2.1 Herleitung durch Aufzeichnungen.....	9
2.2.2 Berechnung durch Klimadaten.....	9
2.2.3 Flächendeckende Berechnung von verfügbaren Arbeitszeiten für witterungsabhängige Arbeiten nach KTBL.....	10
2.3 Aussaatfenster und Erträge.....	15
2.3.1 Winterweizen.....	15
2.3.2 Sommergerste.....	17
2.3.3 Mais.....	18
2.3.4 Zuckerrübe.....	19
2.4 Betriebswirtschaft und Kosten.....	20
2.4.1 Betriebszweigabrechnung in der Landwirtschaft.....	20

2.4.2 Die Leistungs-Kostenrechnung	21
2.5 Maschinenkapazitäten als Risikomanagementinstrument	24
2.6 Die Windauflage	27
3 Material, Datengrundlage und Methoden	30
3.1 Klima und Wetterdaten	30
3.1.1 Datengrundlagen der Wetter- und Klimadaten.....	30
3.1.2 Aufbereitung der DWD-Daten	31
3.2 Das Untersuchungsgebiet.....	31
3.2.1 Gießen (Wettenberg).....	34
3.2.2 Teterow	34
3.2.3 Boltenhagen.....	35
3.3 Ermittlung der verfügbaren Feldarbeitstage (FAT) durch ein Bodenfeuchtemodell	35
3.3.1 Bodenfeuchtemodell	35
3.3.2 Diffusion zwischen den Schichten (DF)	36
3.3.3 Oberflächenwasser (PDL).....	36
3.3.4 Versickerung aus der Schicht 1 (DRN1)	37
3.3.5 Evapotranspiration (ASE)	37
3.3.6 Potenzielle Evapotranspiration und Haundefaktor	38
3.3.7 Sättigungsdefizit.....	38
3.3.8 Versickerung aus Schicht 2 (DRN2)	39
3.3.9 Transpiration der Schicht 2 (AERT)	39
3.3.10 Angenäherte Bodenfeuchte.....	39
3.3.11 Praktische Bodenfeuchte	40
3.3.12 Faktor- und Initialwerte sowie benötigte Klimawerte.....	40
3.4 Berechnung der Feldarbeitstage (FAT).....	41
3.5 Berechnung der Feldarbeitstage (FAT) in den Saatzeitspannen der Anbauverfahren ..	43
3.5.1 Winterweizen.....	44
3.5.2 Sommergerste.....	44

3.5.3 Mais.....	45
3.5.4 Zuckerrübe	45
3.6 Arbeitswirtschaftliche Annahmen	45
3.6.1 Betriebstypen und Mechanisierung.....	46
3.6.2 Arbeitswirtschaftliche Annahmen	47
3.7 Isolierte Betrachtung der Aussaat	48
3.7.1 Winterweizen.....	49
3.7.2 Sommergerste.....	50
3.7.4 Silomaisanbau	52
3.7.5 Zuckerrüben	53
3.7.6 Vergleich des Arbeitsgangs der Aussaat der verschiedenen Anbau- und Produktionsverfahren	54
3.8 Integrative Betrachtung der Aussaat und Berücksichtigung aller Arbeitsgänge	55
3.8.1 Die KTBL-Anbauverfahren.....	56
3.8.2 Aktivität eines Arbeitsgangs und Kapazitäten	56
3.8.3 Zuordnung der Feldarbeiten an eine Anspruchsstufe	57
3.8.4 Zeitraum der Feldarbeit Aussaat	57
3.8.5 Zeitraum und FA Mähdrusch	58
3.9 Arbeitstableau	59
3.10 Anpassung der KTBL-Anbauverfahren an die ausgewählten Stationen.....	64
3.10.1 Phänologische Daten	65
3.10.2 Anpassungen des Winterweizens	69
3.10.3 Anpassungen des Mais.....	71
3.10.4 Anpassungen der Sommergerste.....	72
3.10.5 Anpassungen der Zuckerrübe	74
3.11 Vergleich und Bewertung von Arbeitsgängen und Anbauverfahren	75
3.11.1 Ordnung der Restriktionen	75
3.11.2 Die Aussaat und die Ordnung der Restriktionen	75

3.11.3 Ernte, Lohnarbeiten und die Ordnung der Restriktionen.....	76
3.11.4 Bewertung und Vergleich der Anbauverfahren und der Aussaat	77
3.12 Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes zur Aussaat ohne und mit Windauflage.....	77
3.12.1 Maschinen- und Lohnkosten	79
3.12.2 Erträge, aussaatbedingte Ertragsverluste und Saatzeitspannen.....	81
3.12.3 Produktpreise.....	85
3.12.4 Verluste durch nicht optimale und ungünstige Saatzeitspannen	85
3.13 Ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren durch Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen	87
3.14 Risikoanalyse	88
3.15 Hypothesen.....	91
4 Ergebnisse	93
4.1 Die Windverhältnisse der Stationen.....	93
4.2 Die Windverhältnisse in Gießen, Teterow und Boltenhagen	94
4.3 Feldarbeitstage (FAT) und FAT mit Windauflage	96
4.4 Feldarbeitstage (FAT) ohne und mit Windauflage nach Aussaatzeitspannen der Kulturen	97
4.4.1 Feldarbeitstage zur Aussaat von Winterweizen	97
4.4.2 Feldarbeitstage zur Aussaat von Sommergerste	100
4.4.3 Feldarbeitstage zur Aussaat von Mais	101
4.4.4 Feldarbeitstage zur Aussaat von Zuckerrüben	103
4.5 Mögliche Umfänge für den Arbeitsgang der Aussaat	106
4.6 Ausführliche Darstellung eines Arbeitstableaus	107
4.7 Verfahrensumfänge sowie Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge und der Anbauverfahren am Beispiel des Winterweizens	112
4.7.1 Umfänge der Anbauverfahren Winterweizen	113
4.7.1.1 Umfänge Winterweizen wendend	113
4.7.1.2 Umfänge Winterweizen nichtwendend	117
4.7.1.3 Umfänge Winterweizen Direktsaat.....	120
4.7.2 Die Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge und des Verfahrensumfangs...	123

4.7.2.1 Ordnung der Restriktionen Winterweizen wendend.....	123
4.7.2.2 Ordnung der Restriktionen Winterweizen nichtwendend.....	128
4.7.2.3 Ordnung der Restriktionen Winterweizen Direktsaat	132
4.8 Vergleich und Bewertung der Anbauverfahren hinsichtlich des möglichen Umfangs und der Aussaat für alle untersuchten Kulturen	137
4.8.1 Vergleich der Anbauverfahren Winterweizen	137
4.8.2 Vergleich der Anbauverfahren Sommergerste	142
4.8.3 Vergleich der Anbauverfahren Mais	145
4.8.4 Vergleich der Anbauverfahren Zuckerrübe	151
4.9 Kostenminimaler Maschineneinsatz zur Aussaat und ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren.....	156
4.9.1 Winterweizen.....	161
4.9.1.1 Winterweizen wendend	162
4.9.1.2 Winterweizen nichtwendend.....	164
4.9.1.3 Winterweizen Direktsaat.....	166
4.9.1.4 Ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren des Winterweizens durch die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen	168
4.9.2 Sommergerste.....	170
4.9.2.1 Sommergerste wendend.....	170
4.9.2.2 Sommergerste nichtwendend.....	172
4.9.2.3 Sommergerste Direktsaat	174
4.9.2.4 Ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren der Sommergerste durch die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen	176
4.9.3 Mais.....	178
4.9.3.1 Mais wendend und nichtwendend	178
4.9.3.2 Ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren des Mais durch die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen.....	180
4.9.4 Zuckerrübe	182
4.9.4.1 Zuckerrübe wendend und nichtwendend.....	182
4.9.4.2 Ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren der Zuckerrübe durch die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen	184
4.10 Ergebnisse der Risikoanalyse.....	186
4.10.1 Winterweizen.....	194

4.10.1.1 Winterweizen wendend	195
4.10.1.2 Winterweizen nichtwendend.....	198
4.10.1.3 Winterweizen Direktsaat	201
4.10.2 Sommergerste.....	203
4.10.2.1 Sommergerste wendend.....	203
4.10.2.2 Sommergerste nichtwendend.....	206
4.10.2.3 Sommergerste Direktsaat	209
4.10.3 Mais.....	212
4.10.3.1 Mais wendend	212
4.10.3.2 Mais nichtwendend.....	216
4.10.4 Zuckerrübe	218
4.10.4.1 Zuckerrübe wendend	218
4.10.4.2 Zuckerrübe nichtwendend	222
4.10.5 Exkurs zum kostenminimalen Maschineneinsatz zur Aussaat und zu dem Erwartungswert der Aussaatkosten.....	224
5 Diskussion und Schlussbetrachtung	227
5.1 Diskussion des Einflusses der Windaufgabe auf die Feldarbeitstage und die Aussaatkosten (Hypothese 1 und 2).....	228
5.2 Vorteilhaftigkeit und Resilienz der Anbauverfahren nach Anbaukulturen	229
5.2.1 Winterweizen.....	230
5.2.2 Sommergerste.....	231
5.2.3 Mais.....	232
5.2.4 Zuckerrübe	233
5.3 Zusammenfassende Betrachtung und Schlussfolgerungen zu den Anbaukulturen	234
5.3.1 Bewertung der Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen und Hypothese 3	234
5.3.2 Hypothese 4	238
5.3.3 Bewertung der Anbaukulturen inklusive und exklusive Ernte- und Lohnarbeiten	241
5.4 Bewertung der Ergebnisse der Risikoanalyse.....	247
5.4.1 Hypothese 5	255

5.4.2 Hypothese 6	265
5.4.3 Nochmalige Überprüfung von Hypothese 2	270
5.4.4 Hypothese 7	275
5.4.5 Hypothese 8	284
5.4.6 Kurze Bewertung der Ergebnisse zum Exkurs.....	294
5.5 Methodenkritik.....	299
6 Zusammenfassung.....	303
Summary	305
Literaturverzeichnis.....	306
Anhang	318

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitschema nach KTBL (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2019, S. 10)	6
Abbildung 2: Einflussgrößen im Bodenfeuchtemodell nach Dyer und Baier (1979) (Quelle: Eigene Darstellung nach Spieß, 1999, S. 10)	11
Abbildung 3: Kostengliederung der Produktionsverfahren (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2017, S. 3)	23
Abbildung 4: Schema der Leistungs-Kostenrechnung auf Produktionsverfahrensebene (Quelle: Eigene Darstellung nach Schroers und Krön, 2019, S. 16)	24
Abbildung 5: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit (W) (m/s) in Gießen, Teterow und Boltenhagen im Jahresverlauf (Quelle: Eigene Berechnung).....	95
Abbildung 6: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit (W) (m/s) in Boltenhagen, Teterow und Gießen über die Jahre (Quelle: Eigene Berechnung)	96
Abbildung 7: Verlauf der Aussaatkosten (Gesamtkosten) nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für den großen Betrieb mit Sommergerste (wendend) in Teterow ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	158
Abbildung 8: Verlauf der Sämaschinen-, Schlepper und Lohnkosten sowie der Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für den großen Betrieb mit Sommergerste (wendend) in Teterow (Quelle: Eigene Berechnung).....	159
Abbildung 9: Verlauf der Sämaschinen-, Schlepper und Lohnkosten (getrennte Darstellung) nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für den großen Betrieb mit Sommergerste (wendend) in Teterow (Quelle: Eigene Berechnung).....	160
Abbildung 10: Detaillierter Verlauf der Gesamtkosten der Aussaat und deren Bestandteile für 1000 ha für den großen Betrieb mit Sommergerste (wendend) in Teterow (Quelle: Eigene Berechnung)	161
Abbildung 11: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste in Teterow (Direktsaat) ohne Windauflage [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)	191
Abbildung 12: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste in Teterow (Direktsaat) mit Windauflage (W) [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)	192
Abbildung 13: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste in Teterow (Direktsaat) ohne und mit Windauflage (W) [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ =	

= mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mra} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{ra} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)	194
Abbildung 14: Detaillierter Verlauf aller Bestandteile der Aussaatkosten und des durchschnittlichen Ertrags für 1000 ha für den kleinen Betrieb mit Sommergerste (Direktsaat) in Gießen (Quelle: Eigene Berechnung)	241
Abbildung 15: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste (wendend) in Gießen mit Windauflage (W) [$M_{ra} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mra} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mra} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{ra} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)	259
Abbildung 16: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste (Direktsaat) in Teterow mit Windauflage (W) [$M_{ra} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mra} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mra} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{ra} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)	262
Abbildung 17: Verlauf der Gesamtkosten, der Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste und der Kosten für Sämaschinen nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für $M_{mra} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung und $M_{ra} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung für einen kleinen Betrieb mit Sommergerste (Direktsaat) in Teterow für das 100 %-Quantil mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	264
Abbildung 18: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen großen Betrieb für Sommergerste in Boltenhagen (wendend) ohne und mit Windauflage (W) [$M_{mra} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{ra} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)	269
Abbildung 19: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten für risikoaffine Mechanisierung $M_{ra} Q(0,40)$ bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ohne und mit Windauflage nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für Sommergerste (wendend) in Gießen (kleiner Betrieb) (Quelle: Eigene Berechnung).....	274
Abbildung 20: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Winterweizen in Gießen (wendend) ohne und mit Windauflage (W) [$M_{ra} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)	282
Abbildung 21: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Winterweizen in Gießen (wendend) ohne und mit Windauflage (W) [$M_{ra} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)	283

Abbildung 22: Verlauf der gesamten Aussaatkosten (ohne Schlepper- und Lohnkosten), der Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste und der Kosten für die Sämaschinen für 1000 ha für den kleinen Betrieb mit Mais (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (W) für $M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung und $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung [$M()$ = Anzahl Maschinen die zum kostenminimaler Maschineneinsatz führt, Q = Quantil] (Quelle: Eigene Berechnung)	289
Abbildung 23: Verlauf der Aussaatkosten (Gesamtkosten) nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für den kleinen Betrieb mit Mais (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (W) [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung, Q = Quantil] (Quelle: Eigene Berechnung)	293
Abbildung 24: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste in Teterow (Direktsaat) mit Windauflage (W) [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)	294
Abbildung 25: Verlauf der Aussaatkosten nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für einen großen Betrieb für Zuckerrüben (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (W), für die Mechanisierungsalternativen [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] sowie für den Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$) [$M()$ = kostenminimaler Maschineneinsatz; Q = Quantil] (Quelle: Eigene Berechnung)	296

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung der Bodenklassen zu den Bodenarten nach der Reichsbodenschätzung und nach DIN 4220 (Quelle: Augter, 1990)	12
Tabelle 2: Abkürzungen zu der Bodenklassifizierung (Quelle: Spieß, 1999, S. 11)	12
Tabelle 3: Zuordnung der Feldarbeiten zur Anspruchsstufe (Quelle: KTBL, 2018, S. 253)	13
Tabelle 4: Obergrenzen der Bodenfeuchte in mm (Quelle: Augter, 1990).....	14
Tabelle 5: Minderung des Rübenenertrages bei verspäteter Aussaat (Quelle: Eigene Darstellung nach Winner, 1981, S. 130-131).....	20
Tabelle 6: Ausgewählte Stationen des Deutschen Wetterdienstes (Quelle: Eigene Berechnung)	33
Tabelle 7: Monatliche Haundefaktoren der potenziellen Evapotranspiration (Quelle: Eigene Darstellung nach Verein Deutscher Ingenieure, 1993)	38
Tabelle 8: Faktoren des Bodenfeuchtemodells (Quelle: Eigene Darstellung nach Dyer und Baier, 1979)	41
Tabelle 9: Standortabhängige Saatzeitspannen für Winterweizen (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an das Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion, 2020a, S. 1, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 2020 und Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, 2011).....	44
Tabelle 10: Standortunabhängige Saatzeitspannen für Sommergerste (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2001, S. 135, Tschischej, 2017 und Agrarheute, 2015).....	45
Tabelle 11: Standortunabhängige Saatzeitspannen für Mais (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Deutsches Maiskomitee, 2020 und Saaten-Union, 2021)	45
Tabelle 12: Standortunabhängige Saatzeitspannen für Zuckerrüben (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion, 2020b)	45
Tabelle 13: Anbauverfahren für Winterweizen und deren Arbeitszeitbedarf für den Arbeitsgang Aussaat (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)	50
Tabelle 14: Anbauverfahren für Sommergerste und deren Arbeitszeitbedarf für den Arbeitsgang Aussaat (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)	51
Tabelle 15: Anbauverfahren für Silomais und deren Arbeitszeitbedarf für den Arbeitsgang Aussaat (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)	52
Tabelle 16: Anbauverfahren für Zuckerrüben und deren Arbeitszeitbedarf für den Arbeitsgang Aussaat (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)	53
Tabelle 17: Verfügbare Mähdruschstunden (FAT AS 1) (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2018, S. 253 ff.)	59
Tabelle 18: Beispielhafter Aufbau eines Arbeitstableaus (Quelle: Eigene Berechnungen).....	63
Tabelle 19: Phänologische Phasen des Winterweizens und der Sommergerste nach DWD inklusive dazugehöriger BBCH-Codes (Quelle: Eigene Darstellung nach DWD, 2021 und Meier, 2001).....	66

Tabelle 20: Phänologische Phasen des Mais nach DWD inklusive dazugehöriger BBCH-Codes (Quelle: Eigene Darstellung nach DWD, 2021 und Meier, 2001).....	66
Tabelle 21: Phänologische Phasen der Zuckerrübe nach DWD inklusive dazugehöriger BBCH-Codes (Quelle: Eigene Darstellung nach DWD, 2021 und Meier, 2001).....	67
Tabelle 22: Anzahl der Datensätze zur Bestimmung der phänologischen DWD-Phasen des Winterweizens (Quelle: Eigene Berechnung)	67
Tabelle 23: Anzahl der Datensätze zur Bestimmung der phänologischen DWD-Phasen des Mais (Quelle: Eigene Berechnung).....	68
Tabelle 24: Durchschnittlicher Vegetationsbeginn (Quelle: Eigene Berechnung).....	68
Tabelle 25: Termine der phänologischen DWD-Phasen des Winterweizens (Quelle: Eigene Berechnung)	68
Tabelle 26: Termine der phänologischen DWD-Phasen des Mais (Quelle: Eigene Berechnung)	68
Tabelle 27: Ausführungszeiträume der Arbeitsgänge der Anbauverfahren des Winterweizens nach KTBL und nach vorgenommener Anpassung (Quelle: KTBL, 2020b und eigene Berechnung)	71
Tabelle 28: Ausführungszeiträume der Arbeitsgänge der Anbauverfahren von Mais nach KTBL (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)	72
Tabelle 29: Ausführungszeiträume der Arbeitsgänge der Anbauverfahren der Sommergerste nach KTBL und nach vorgenommener Anpassung (Quelle: KTBL, 2020b und eigene Berechnung)	73
Tabelle 30: Ausführungszeiträume der Arbeitsgänge der Anbauverfahren der Zuckerrübe nach KTBL und nach vorgenommener Anpassung (Quelle: KTBL, 2020b und eigene Berechnung)	74
Tabelle 31: Winterweizenertrag in Abhängigkeit von den Saatzeitspannen (Quelle: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2014, KTBL, 2018, S. 267 und eigene Berechnung)	82
Tabelle 32: Sommergerstenertrag in Abhängigkeit von den Saatzeitspannen (Quelle: Boese, 2001, KTBL, 2018, S. 298 und eigene Berechnung).....	83
Tabelle 33: Maisertrag in Abhängigkeit von den Saatzeitspannen (Quelle: Boese, 2006, KTBL, 2018, S. 322 und eigene Berechnung)	84
Tabelle 34: Zuckerrübenenertrag in Abhängigkeit von den Saatzeitspannen (Winner, 1981, S. 131, KTBL, 2018, S. 403 und eigene Berechnung).....	85
Tabelle 35: Produktpreise für Winterweizen, Sommergerste, Maissilage und Zuckerrüben (Eigene Berechnung nach KTBL, 2012, S. 237 und S. 332, KTBL, 2014, S. 232 und S. 328, KTBL, 2016, S. 240 und S. 316, KTBL, 2018, S. 242 und S. 324 und KTBL, 2020a, S. 240).....	85
Tabelle 36: Variable Kosten deckender Ertrag nach Kultur, Anbauverfahren und Mechanisierung (Quelle: Eigene Berechnung).....	86
Tabelle 37: Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten und Windgeschwindigkeiten über 5 m/s (Quelle: Eigene Berechnung)	94
Tabelle 38: Feldarbeitstage der Stationen zur Aussaat von Winterweizen für leichte Böden ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	99

Tabelle 39: Feldarbeitstage der Stationen zur Aussaat von Sommergerste für leichte Böden ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	101
Tabelle 40: Feldarbeitstage der Stationen zur Aussaat von Mais für leichte Böden ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	103
Tabelle 41: Feldarbeitstage der Stationen zur Aussaat von Zuckerrübe für leichte Böden ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	105
Tabelle 42: Auszug Arbeitstableau für Winterweizen (wendend) für einen kleinen Betrieb mit Windauflage in Gießen (Quelle: Eigene Berechnung).....	111
Tabelle 43: Umfänge der Arbeitsgänge für Winterweizen (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	116
Tabelle 44: Umfänge der Arbeitsgänge für Winterweizen (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	119
Tabelle 45: Umfänge der Arbeitsgänge für Winterweizen (Direktsaat), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	122
Tabelle 46: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Winterweizen (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	127
Tabelle 47: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Winterweizen (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung).....	131
Tabelle 48: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Winterweizen (Direktsaat), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung).....	136
Tabelle 49: Vergleich der Anbauverfahren Winterweizen, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)..	141
Tabelle 50: Vergleich der Anbauverfahren Sommergerste, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)..	144
Tabelle 51: Vergleich der Anbauverfahren Mais, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	150
Tabelle 52: Vergleich der Anbauverfahren Zuckerrübe, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	155
Tabelle 53: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen wendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	163
Tabelle 54: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen wendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	163
Tabelle 55: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen nichtwendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	165
Tabelle 56: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen nichtwendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	165

Tabelle 57: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen Direktsaat, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	167
Tabelle 58: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen Direktsaat, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	167
Tabelle 59: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (€/ha) für Winterweizen nach Anbauverfahren und Betriebstyp (Quelle: Eigene Berechnung).....	169
Tabelle 60: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste wendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	171
Tabelle 61: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste wendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	171
Tabelle 62: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste nichtwendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	173
Tabelle 63: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste nichtwendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	173
Tabelle 64: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste Direktsaat, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	175
Tabelle 65: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste Direktsaat, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	175
Tabelle 66: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (€/ha) für Sommergerste nach Anbauverfahren und Betriebstyp (Quelle: Eigene Berechnung).....	177
Tabelle 67: Kostenminimaler Maschineneinsatz Mais wendend und nichtwendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	179
Tabelle 68: Kostenminimaler Maschineneinsatz Mais wendend und nichtwendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	179
Tabelle 69: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (€/ha) für Mais nach Anbauverfahren und Betriebstyp (Quelle: Eigene Berechnung)	181
Tabelle 70: Kostenminimaler Maschineneinsatz Zuckerrübe wendend und nichtwendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	183
Tabelle 71: Kostenminimaler Maschineneinsatz Zuckerrübe wendend und nichtwendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	183
Tabelle 72: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (€/ha) für Zuckerrübe nach Anbauverfahren und Betriebstyp (Quelle: Eigene Berechnung)	185
Tabelle 73: Aussaatkosten (€/ha) der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Sommergerste in Teterow (Direktsaat) mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnungen).....	189
Tabelle 74: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Winterweizen (wendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)	197
Tabelle 75: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Winterweizen (nichtwendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)	200

Tabelle 76: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Winterweizen (Direktsaat) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)	202
Tabelle 77: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Sommergerste (wendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)	205
Tabelle 78: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Sommergerste (nichtwendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)	208
Tabelle 79: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Sommergerste (Direktsaat) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)	211
Tabelle 80: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Mais (wendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)	215
Tabelle 81: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Mais (nichtwendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)	217
Tabelle 82: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Zuckerrübe (wendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)	221
Tabelle 83: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Zuckerrübe (nichtwendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)	223
Tabelle 84: Aussaatkosten (€/ha) der Mechanisierungsalternativen nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha und Erwartungswert der Aussaatkosten für einen großen Betrieb für Zuckerrüben (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	226
Tabelle 85: Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Kostensteigerung der Aussaat, Teil 1 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)	237
Tabelle 86: Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Kostensteigerung der Aussaat, Teil 2 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)	238
Tabelle 87: Reduktion des Verfahrensumfangs und Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen inklusive Ernte- und Lohnarbeiten durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Reduktion des Verfahrensumfangs, Teil 1 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)	244
Tabelle 88: Reduktion des Verfahrensumfangs und Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen inklusive Ernte- und Lohnarbeiten durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Reduktion des Verfahrensumfangs, Teil 2 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)	245

Tabelle 89: Reduktion des Verfahrensumfangs und Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen exklusive Ernte- und Lohnarbeiten durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Reduktion des Verfahrensumfangs, Teil 1 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)	246
Tabelle 90: Reduktion des Verfahrensumfangs und Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen exklusive Ernte- und Lohnarbeiten durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Reduktion des Verfahrensumfangs, Teil 2 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)	247
Tabelle 91: Zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse zur Risikoanalyse für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für Winterweizen ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	252
Tabelle 92: Zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse zur Risikoanalyse für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für Sommergerste ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	253
Tabelle 93: Zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse zur Risikoanalyse für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für Mais und Zuckerrübe ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	254
Tabelle 94: Häufigkeit, in der eine Mechanisierungsalternative über alle Anbaukulturen, Anbauverfahren, Standorte und Betriebstypen zum niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten führt (Quelle: Eigene Berechnung)	255
Tabelle 95: Aussaatkosten und Streuungsmaß der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Sommergerste (wendend) in Gießen mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	258
Tabelle 96: Aussaatkosten und Streuungsmaß der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Sommergerste (Direktsaat) in Teterow mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	261
Tabelle 97: Aussaatkosten und Streuungsmaß der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Sommergerste (wendend) in Boltenhagen mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	267
Tabelle 98: Varianten, bei denen der Erwartungswert der Aussaatkosten mit Windauflage sinkt (Quelle: Eigene Berechnung)	271
Tabelle 99: Aussaatkosten für risikoaffine Mechanisierung $M_{raf} Q(0,40)$ bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ohne und mit Windauflage nach Quantilen für Sommergerste (wendend) in Gießen (kleiner Betrieb) (Quelle: Eigene Berechnung)	273
Tabelle 100: Zusammenfassende Übersicht zur Auswirkung der Windauflage auf das Streuungsmaß (D10_90), Teil 1 (Winterweizen und Sommergerste) von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)	277
Tabelle 101: Zusammenfassende Übersicht zur Auswirkung der Windauflage auf das Streuungsmaß (D10_90), Teil 2 (Mais und Zuckerrübe) von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)	278

Tabelle 102: Aussaatkosten und Streuungsmaß der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Winterweizen (wendend) in Gießen mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	280
Tabelle 103: Zusammenfassende Übersicht aller 60 Varianten zur Hypothese 8 (Quelle: Eigene Berechnung)	284
Tabelle 104: Aussaatkosten (€/ha) der Mechanisierungsalternativen nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für einen kleinen Betrieb für Mais (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	286
Tabelle 105: Gesamte Aussaatkosten (€/ha), Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste (€/ha) und Kosten für Sämaschinen (€/ha) der Mechanisierungsalternativen $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für einen kleinen Betrieb für Mais (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	288
Tabelle 106:Aussaatkosten und Streuungsmaß der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Mais (wendend) in Boltenhagen mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	291
Tabelle 107: Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$) (€/ha) für 1000 ha bei gegebener ex- ante festgelegter Maschinenanzahl (von 1 bis 20) nach Quantilen für einen großen Betrieb für Zuckerrüben (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnungen)	298
Tabelle 108: Vergleich des für 2 ha und 10 ha Schläge durchschnittlichen Arbeitszeitbedarfs (h/ha) für das wendende und das nicht wendende Anbausystem (sowie für die Direktsaat) für Weizen, Sommergerste, Mais und Zuckerrübe, detailliert (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)	318
Tabelle 109: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Barth (Quelle: Eigene Berechnung)	319
Tabelle 110: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	320
Tabelle 111: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Geisenheim (Quelle: Eigene Berechnung)	321
Tabelle 112: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Gießen (Quelle: Eigene Berechnung).....	322
Tabelle 113: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Lüsewitz (Quelle: Eigene Berechnung) ...	323
Tabelle 114: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Bad Hersfeld (Quelle: Eigene Berechnung)	324
Tabelle 115: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Sankt Peter-Ording (Quelle: Eigene Berechnung)	325
Tabelle 116: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Teterow (Quelle: Eigene Berechnung)....	326
Tabelle 117: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Fehmarn (Quelle: Eigene Berechnung)...	327
Tabelle 118: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Dörnack (Quelle: Eigene Berechnung).....	328
Tabelle 119: Möglicher Aussaatumfang für Winterweizen nach Saatzeitspannen ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	329

Tabelle 120: Möglicher Aussaatumfang für Winterweizen nach Saatzeitspannen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	330
Tabelle 121: Möglicher Aussaatumfang für Sommergerste nach Saatzeitspannen ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	331
Tabelle 122: Möglicher Aussaatumfang für Sommergerste nach Saatzeitspannen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	332
Tabelle 123: Möglicher Aussaatumfang für Mais nach Saatzeitspannen ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	333
Tabelle 124: Möglicher Aussaatumfang für Mais nach Saatzeitspannen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung).....	334
Tabelle 125: Möglicher Aussaatumfang für Zuckerrübe nach Saatzeitspannen ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	335
Tabelle 126: Möglicher Aussaatumfang für Zuckerrübe nach Saatzeitspannen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)	336
Tabelle 127: Umfänge der Arbeitsgänge für Sommergerste (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	337
Tabelle 128: Umfänge der Arbeitsgänge für Sommergerste (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	338
Tabelle 129: Umfänge der Arbeitsgänge für Sommergerste (Direktsaat), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	339
Tabelle 130: Umfänge der Arbeitsgänge für Mais (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)..	340
Tabelle 131: Umfänge der Arbeitsgänge für Mais (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	341
Tabelle 132: Umfänge der Arbeitsgänge für Mais (wendend), ohne Gülle ausbringen, kleine und große Betriebe mit und ohne Windrestriktion in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung).....	342
Tabelle 133: Umfänge der Arbeitsgänge für Mais (nichtwendend), ohne Gülle ausbringen, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung).....	343
Tabelle 134: Umfänge der Arbeitsgänge für Zuckerrübe (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	344
Tabelle 135: Umfänge der Arbeitsgänge für Zuckerrübe (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	345

Tabelle 136: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Sommergerste (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung).....	346
Tabelle 137: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Sommergerste (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung).....	347
Tabelle 138: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Sommergerste (Direktsaat), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung).....	348
Tabelle 139: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Mais (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	349
Tabelle 140: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Mais (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	350
Tabelle 141: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Mais (wendend), ohne Gülle ausbringen, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	351
Tabelle 142: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Mais (nichtwendend), ohne Gülle ausbringen, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung).....	352
Tabelle 143: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Zuckerrübe (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)	353
Tabelle 144: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Zuckerrübe (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung).....	354
Tabelle 145: Aussaatkosten (€/ha) der Mechanisierungsalternativen nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha und Erwartungswert der Aussaatkosten für einen großen Betrieb für Sommergerste (wendend) in Teterow mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung) ..	355

Abkürzungsverzeichnis

A	Aktivität
AS	Anspruchsstufe
AZ _{ik}	Arbeitszeitananspruch einer Aktivität (h/ha)
BLA	Beladen
BLF	Beladen am Feld
BLH	Beladen am Hof
BP	Bodenprobe
DAKfL	Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung
dt	Dezitonne
DWD	Deutscher Wetterdienst
D10_90	Streuungsmaß der Aussaatkosten
E(K)	Erwartungswert der Aussaatkosten
FA	Feldarbeit
FAT	Feldarbeitstag
FAT1	Feldarbeitstag der Anspruchsstufe 1
FAT2	Feldarbeitstag der Anspruchsstufe 2
FAT3	Feldarbeitstag der Anspruchsstufe 3
FAT_W	Feldarbeitstag inklusive Windauflage
ff.	folgend
h	Stunden
ha	Hektar
HAS	Heubach aktive Substanz
K	Kapazität
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
kg	Kilogramm
KW	Kalenderwoche
kW	Kilowatt
LLG	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt
m	Meter
M _{mraf}	mittlere risikoaffine Mechanisierung
M _{raf}	risikoaffine Mechanisierung
M _{mrav}	mittlere risikoaverse Mechanisierung
M _{rav}	risikoaverse Mechanisierung
NFA	Nicht-Feldarbeit
NFAT	Nicht-Feldarbeitstag
P	Wahrscheinlichkeit
Q	Quantil
s	Sekunden
SD	Standartabweichung
t	Tonne
TL	Trocknen und Lagern

TR	Transport
U _k	Umfang einer Aktivität in ha
vgl.	vergleiche
W	durchschnittliche Windgeschwindigkeit (m/s)

Abkürzungen der Monate

JAN	Januar
FEB	Februar
MRZ	März
APR	April
MAI	Mai
JUN	Juni
JUL	Juli
AUG	August
SEP	September
OKT	Oktober
NOV	November
DEZ	Dezember

Danksagung

Wem soll der erste Dank erschallen?
Dem Gott, der groß und wunderbar
aus langer Schande Nacht uns allen
in Flammenglanz erschienen war;
der uns´rer Feinde Trotz zerblitzet,
der uns´re Kraft uns schön erneut
und auf den Sternen waltend sitzt
von Ewigkeit zu Ewigkeit!

(Ernst Moritz Arndt, 1815)

Zum Abschluss dieser Arbeit möchte ich all denen danken, die zu ihrem Gelingen beigetragen haben. Mein besonderer Dank gilt meinem Erstbetreuer, Prof. Dr. Joachim Aurbacher, der mir die Möglichkeit gab, diese Dissertation unter seiner Leitung zu verfassen. Die Freiheit, eigenständig arbeiten zu dürfen, kombiniert mit der Sicherheit, stets einen kompetenten Ratgeber zur Seite zu haben, ist ein Privileg, das ich sehr zu schätzen weiß. Auch bei meinen Kollegen am Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft möchte ich mich für die stets freundliche und unterstützende Arbeitsatmosphäre bedanken. Mein tief empfundener Dank gilt meiner Familie und meinen Angehörigen, die mich von Kindesbeinen an bis zum heutigen Tag begleitet, unterstützt und ermutigt haben. Ohne Euch wäre dieser Weg nicht denkbar gewesen.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe.

Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Ort, Datum

Unterschrift

1 Einleitung

Bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln erteilt das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit Auflagen und Anwendungsbestimmungen für die einzelnen Mittel. Eine bedeutende Regelung stellt hierbei die Anwendungsbestimmung NH681 dar, die die Ausbringung von mit Pflanzenschutzmitteln behandelten Saatgut unter bestimmten Bedingungen regelt. Diese Bestimmung, die ursprünglich vor allem auf insektizide Beizmittel angewendet wurde, lautet: „Keine Ausbringung des behandelten Saatgutes bei Wind mit Geschwindigkeiten über 5 m/s.“ In den letzten Jahren kam es jedoch zu einer zunehmenden Vergabe der Anwendungsbestimmung NH681 auch für Getreidesaatgut, das mit fungiziden Beizmitteln behandelt wurde. Mit der Einführung neuer Vorschriften zu Beizanlagen (NT699x) und gebeiztem Saatgut bei Wind (NH681) im Jahr 2022, die ursprünglich für 2021 geplant waren, trat eine bedeutende Erweiterung in Kraft: Die Anwendungsbestimmung NH681 gilt nun nicht nur für insektizide, sondern auch für alle (fungiziden) Saatgutbehandlungsmittel und ist somit auf alle Beizanwendungen in sämtlichen Kulturen anzuwenden. Die Anwendungsbestimmung NT699x schreibt die Beizung in zertifizierten und beim Julius-Kühn-Institut gelisteten Anlagen vor (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2021). Künftig müssen also alle Betriebe, die selbst beizen, beim Julius-Kühn-Institut gelistet sein. Ebenfalls gilt eine Positivliste für Saatgeräte. Nach dem Landesverband Bayerischer Saatgetreideerzeuger-Vereinigungen (2019) bemängelt das Umweltbundesamt eine unzureichende Datengrundlage zur Abdrift von Beizmittelstäuben bei höheren Windgeschwindigkeiten und fordert die Unterbindung der Aussaat bei Wind bis zur Erbringung eines gesicherten Nachweises, dass bei der Aussaat bei hohen Windgeschwindigkeiten keine für aquatische Lebewesen schädliche Abdrift entsteht.

Das Gelingen und die Durchführbarkeit der meisten landwirtschaftlichen Arbeiten in der Außenwirtschaft sind in hohem Maße von dem Wetter, der Witterung und den Bodenverhältnissen abhängig. Der zunehmende Kosten- und Effizienzdruck, dem die Landwirtschaft ausgesetzt ist, erfordert ein immer besseres Betriebsmanagement und eine systematische Planung des Maschinen- und Arbeitseinsatzes, unter Berücksichtigung von Planungsabschnitten des Pflanzenwachstums sowie der Witterung und des Wetters.

1.1 Zielsetzung und Forschungsfragen

Die vorliegende Dissertation untersucht die ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Auswirkungen der 2022 eingeführten Windauflage (Anwendungsbestimmung NH681) auf die Aussaat verschiedener Anbaukulturen, Anbauverfahren, Betriebstypen und Standorte. Diese Regelung, die die Ausbringung von gebeiztem Saatgut bei Windgeschwindigkeiten über 5 m/s einschränkt, stellt landwirtschaftliche Betriebe vor erhebliche Herausforderungen in Bezug auf die Organisation von Feldarbeiten, die Maschinenplanung und die Kostenstruktur. Das Ziel der Arbeit ist es, die Auswirkungen der Windauflage aus verschiedenen Perspektiven zu analysieren. Dabei liegt der Fokus auf der Verfügbarkeit von Feldarbeitstagen, der optimalen Maschinenkapazität, den Kosten der Aussaat und der Resilienz von Betrieben gegenüber den Einschränkungen durch die Windauflage. Darüber hinaus werden die Aussaatkosten bei verschiedener Risikobereitschaft bezüglich der Maschinenausstattung untersucht. Dabei sollen vor allem die Unterschiede zwischen eher windreichen Standorten in Norddeutschland und eher windarmen hessischen Standorten untersucht werden. Dazu stehen vor allem die zwei norddeutschen Standorte Teterow und Boltenhagen sowie der hessische Standort Gießen im Fokus dieser Arbeit.

Aus der Zielsetzung leiten sich folgende Forschungsfragen ab:

Feldarbeitstage und Aussaat

Wie beeinflusst die Windauflage die Verfügbarkeit von Feldarbeitstagen an verschiedenen Standorten?

Welche standortspezifischen Unterschiede ergeben sich in Teterow, Gießen und Boltenhagen, die sich durch unterschiedliche Windverhältnisse auszeichnen?

Einschränkungen bei der Aussaat und integrative Betrachtung der Aussaat

Führt die Windauflage dazu, dass weniger Hektar (ha) Aussaat innerhalb der verfügbaren Arbeitsfenster möglich sind?

Welche Einschränkungen für den Verfahrensumfang (ha) ergeben sich aus der Aussaat durch die Windauflage, insbesondere bei einer integrativen Betrachtung aller Arbeitsgänge eines Anbauverfahrens?

Kosten und Maschinenplanung

Welche Auswirkungen hat die Windauflage auf die Kosten der Aussaat in unterschiedlichen Anbauverfahren und Betriebstypen?

Wie beeinflusst die Windauflage die optimale Anzahl an Maschinen für die Aussaat?

Welche Austauschbeziehung besteht zwischen der Anzahl an Aussaatmaschinen und den Ertragsverlusten aufgrund suboptimaler Aussaatbedingungen, und wie lassen sich diese Beziehungen optimieren?

Risikomanagement und Mechanisierung

Ist eine risikoaverse oder risikoaffine Einstellung hinsichtlich des Mechanisierungsgrades vorteilhaft, um die Kosten zu minimieren und eine zeitgerechte Aussaat zu gewährleisten?

Inwieweit tragen unterschiedliche Risikoeinstellungen zur Resilienz der landwirtschaftlichen Betriebe gegenüber den Einschränkungen durch die Windauflage bei?

Durch die Beantwortung dieser Fragen soll die Dissertation einen Beitrag zur wissenschaftlichen und praktischen Debatte über die ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Herausforderungen der Windauflage leisten. Die Frage nach den umweltökologischen Auswirkungen von gebeiztem Saatgut wird in dieser Arbeit außer Acht gelassen.

1.2 Vorgehensweise

Die Analyse der Auswirkungen der Windauflage folgt einem methodischen und strukturierten Ansatz, der verschiedene Ebenen der landwirtschaftlichen Produktion berücksichtigt:

Ermittlung der Windverhältnisse

Zunächst werden die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten sowie die Windgeschwindigkeiten über 5 m/s an den jeweiligen Wetterstationen ermittelt, um Erkenntnisse über den Jahresverlauf der durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten zu gewinnen und standortspezifische Unterschiede herauszuarbeiten.

Berechnung der Feldarbeitstage

Die Verfügbarkeit von Feldarbeitstagen wird unter den Bedingungen der Windauflage sowie ohne diese Restriktion berechnet. Dies ermöglicht eine genaue Analyse der Auswirkungen der Windauflage auf die Arbeitsfenster an verschiedenen Standorten.

Analyse der Aussaatumfänge

Auf Grundlage der verfügbaren Feldarbeitstage werden die maximal möglichen Aussaatumfänge (ha) für verschiedene Betriebstypen, Anbauverfahren und Standorte herausgearbeitet. Dies ermöglicht eine Bewertung der potenziellen Einschränkungen durch die Windauflage.

Integrative Betrachtung der Aussaat

Die Berechnung der möglichen Umfänge (ha) aller Arbeitsgänge in einem Anbauverfahren ermöglicht eine integrative Betrachtung des Arbeitsgangs der Aussaat und die Bewertung der Resilienz der verschiedenen Anbauverfahren gegenüber der Windauflage.

Kosten- und Maschinenplanung

Durch die Ermittlung und den Vergleich der kostengünstigsten Maschinenausstattung für die Aussaat ohne und mit Windauflage werden die Kosten der Windauflage bestimmt. Darüber hinaus untersucht diese Arbeit den Einfluss der Windauflage auf das Verhältnis zwischen der Anzahl der Aussaatmaschinen und den Ertragsverlusten aufgrund suboptimaler Saatbedingungen.

Risikobasierte Analyse

Es wird die optimale Risikoeinstellung hinsichtlich der Anzahl der Aussaatmaschinen sowohl mit als auch ohne Windauflage ermittelt. Bei der Risikoanalyse werden verschiedene Risikoeinstellungen anhand der Aussaatkosten und ihrer Veränderungen durch Windauflagen bestimmt, um zu ermitteln, welchen Einfluss die Risikoeinstellungen auf die Aussaatkosten haben.

Dieser Ansatz stellt sicher, dass die Windauflage umfassend aus ökonomischer, arbeitswirtschaftlicher und risikobezogener Perspektive analysiert wird.

2 Stand des Wissens

Im folgenden Kapitel erfolgt ein Literaturüberblick zu den sechs Themen: Arbeitswirtschaft, Feldarbeitstage, Aussaatfenster, Betriebswirtschaft, Maschinenkapazitäten als Risikomanagementinstrument und die Windauflage. Dieser Überblick soll dazu dienen, die verwendeten Methoden und Ergebnisse dieser Arbeit besser einzuordnen.

2.1 Arbeitszeitbedarf, Arbeits- und Produktionsverfahren und Kapazitätsplanung

Die Arbeitslehre in der Landwirtschaft etablierte sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts als eigenständige Fachrichtung. Ein Gliederungsvorschlag für die Arbeitsverfahren, der bis heute in Ansätzen gültig ist, wurde von Bismarck und Buchholz (1931) entwickelt. Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) verwendet zur Kalkulation des Arbeitszeitbedarfs in der Feldwirtschaft die Methode von Gindele (1972), die durch strukturierte Zeitelemente von Kreher und Hesselbach (1968) erweitert wurde. Demnach ist neben der Kapazität an verfügbarer Arbeitszeit auch deren Organisation von entscheidender Bedeutung.

2.1.1 Arbeitszeitbedarf

Der Ursprung der Methodik zur Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs von Arbeitsprozessen liegt in Deutschland im industriellen Bereich und wurde federführend vom Rechtsausschuss für Arbeitszeitermittlung (REFA), heute REFA-Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung, begründet. Da sich die Landwirtschaft durch dezentralisierte Betriebsstätten und einen häufig wechselnden Arbeitsplatz auszeichnet (Haidn und Schleicher, 2006), wurde in Anlehnung an den Rechtsausschuss für Arbeitszeitermittlung eine große Anzahl von auf die Arbeitszeiterfassung in der Landwirtschaft spezialisierten Methoden maßgeblich durch das KTBL entwickelt (Fechner, 2014). Eine in der Literatur gängige Methode ist die Ist-Analyse von Auernhammer und Schön (1977), die der Analyse und Erfassung des Arbeitszeitbedarfs von existierenden Arbeitsprozessen und den dazugehörigen Arbeitsabschnitten dient.

2.1.2 Arbeitsverfahren

Nach KTBL (2019, S. 9) beschreibt ein Arbeitsverfahren die technische Ausgestaltung eines Verfahrens und das Prinzip, um eine Arbeit zu erledigen. Abbildung 1 zeigt die Zeitgliederung nach KTBL, die in der Regel auf der Ebene des Arbeitsvorgangs, aber auch für höhere Aggregationsebenen genutzt wird. Dabei setzt sich die Gesamtzeit aus verschiedenen Zeitarten zusammen, darunter Hauptzeit, Wendezeit, Versorgungszeit, Verlustzeit, Wartezeit sowie Rüst- und Wegezeit. Die Hauptzeit dient der eigentlichen Arbeitserledigung, während die Nebenzeit für planmäßige Tätigkeiten genutzt wird, die nur mittelbar mit der eigentlichen Arbeitserledigung zusammenhängen. Die Nebenzeit unterteilt sich in Wendezeit, zum Beispiel zum Wenden der Maschine an den jeweiligen Flurenden, und Versorgungszeit, die beispielsweise dem Befüllen von Betriebsmitteln dienen kann. Verlust- und Wartezeit stellen unplanmäßige Behinderungen und Unterbrechungen bei der Arbeitserledigung dar, die beispielsweise durch Defekte an Maschinen oder Unterbrechungen der Prozesskette wie beim Abtransport von Erntegut entstehen können. Die Rüst- und Wegezeit dient der Bereitstellung der Funktionsfähigkeit des Arbeitsgeräts und der Maschinen sowie dem Transport zum Einsatzort. Der Arbeitszeitbedarf eines Arbeitsverfahrens entspricht der Gesamtzeit, die alle sonstigen Arbeiten, die zur Arbeitserledigung anfallen, inkludiert.

Gesamtzeit			
Ausführungszeit und Wartezeit			Rüst- und Wegezeit
Ausführungszeit		Wartezeit	
Grundzeit	Verlustzeit		
Hauptzeit	Nebenzeit		
	Wenden	Versorgen	

Abbildung 1: Zeitschema nach KTBL (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2019, S. 10)

Nach KTBL (2019, S. 9-10) beeinflussen die technische Ausstattung eines Arbeitsverfahrens (wie Motorleistung, Arbeitsbreite, Arbeitsgeschwindigkeit und erforderliche Anzahl an Arbeitskräften), die Eigenschaften des Arbeitsortes (wie Hof-Feld-Entfernung, Flächengröße und

Flächenform), die produktionstechnischen Bedingungen (wie Erträge und Betriebsmittelmengen) sowie die Häufigkeiten von Wendevorgängen und Kontrollgängen maßgeblich den Arbeitszeitbedarf und den Umfang der eingesetzten Arbeitsmittel.

2.1.3 Produktionsverfahren

Nach KTBL (2019, S. 13) beschreiben Produktionsverfahren (auch Anbauverfahren) die technische Ausgestaltung eines Verfahrens und das Prinzip zur Herstellung von Produkten definierter Qualität. Produktionsverfahren subsumieren dabei alle Arbeitsverfahren, die dem Produktionsverfahren dienen.

2.1.4 Kapazitätsplanung und termingebundene Arbeitserledigung

Die Kapazitätsplanung befasst sich mit der Frage, ob die vorhandenen Kapazitäten an Arbeitskräften, technischer Ausstattung und Mechanisierung ausreichen, um den angestrebten Arbeitsumfang zu bewältigen. In der Feldarbeit wird dieser Umfang in Hektar (ha) gemessen. Die Kapazitätsplanung erfolgt durch den Abgleich des Zeitbedarfs, der durch Arbeitskräfte, technische Ausstattung und Mechanisierung bestimmt wird, mit dem vorhandenen Zeitangebot. Dieses wird durch die Anzahl der zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage in den jeweiligen Zeitspannen bestimmt, die wiederum von den Witterungsbedingungen beeinflusst werden.

Die Produktionsverfahren pflanzlicher Produkte in Deutschland verlaufen in großen Teilen kongruent und werden maßgeblich durch den Boden, das Klima und die technische Ausstattung definiert. Die Ausführung von Arbeitsverfahren, insbesondere der Außenwirtschaft, sind maßgeblich durch den Lebenszyklus der Pflanze sowie den Jahresverlauf und die Witterung determiniert. KTBL (2018, S. 267 ff.) strukturiert die einzelnen Arbeitsverfahren (Feldarbeiten) von Produktionsverfahren der Außenwirtschaft in halbmonatliche Zeitspannen, in welchen die Erledigung der Arbeitsverfahren durchgeführt wird. Während Feldarbeitstage, Mähdruschstunden, Raufuttererntetage und Zeitspannen an klimatische Regionen angepasst werden, sind die Arbeitsverfahren für alle klimatischen Regionen einheitlich standardisiert vorgegeben. Die Ausführung von Arbeitsverfahren in halbmonatlichen Zeitspannen nach KTBL kann zu Problemen mit der guten fachlichen Praxis und pflanzenbaulichen Gesichtspunkten führen (Spieß, 1999, S. 17).

2.2 Feldarbeitstage (FAT)

In einem Gebiet steht eine durch die jeweiligen klimatischen Verhältnisse bestimmte Anzahl von (Feld-) Arbeitstagen zur Erledigung der Feldarbeiten zur Verfügung. Die Kapazität an FAT, an Arbeitskräften und an Maschinen sowie die Mechanisierung der Maschinen beziehungsweise deren Schlagkraft bestimmen maßgeblich die arbeitswirtschaftliche Situation landwirtschaftlicher Betriebe. Grundsätzlich gilt dabei, dass Arbeitsspitzen, also Zeiträume, in denen eine geringe Anzahl an FAT zur Verfügung steht, den Umfang an landwirtschaftlicher Fläche, den ein Betrieb bewirtschaften kann, limitieren. Betriebe mit einer hohen Anzahl an Arbeitskraftstunden, hoher Schlagkraft und vielen FAT können eine größere Fläche bewirtschaften als kleine Betriebe mit einer geringen Anzahl an Arbeitskraftstunden, geringer Schlagkraft und wenigen FAT. Die FAT sind Erfahrungswerte, die sich aus langjährigen Klimaaufzeichnungen ableiten und angeben, wie viele Tage für die Ausführung bestimmter Feldarbeiten in einem Gebiet mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zur Verfügung stehen. KTBL (2018, S. 253 ff.) gibt beispielsweise die FAT an, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 80 % (Sicherheit) mindestens zur Verfügung stehen, und verwendet dazu das entsprechende 20 %-Wahrscheinlichkeitsquantil.

Dabei sind Abweichungen zwischen den Erfahrungswerten und den tatsächlich auftretenden FAT möglich. Die FAT stellen also neben den Arbeitskräften, der Schlagkraft und den Lebens- und Entwicklungszyklen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen die entscheidenden Daten für die arbeitswirtschaftliche Betriebsplanung dar.

In der Literatur gibt es eine Vielzahl von methodischen Ansätzen zur Ermittlung der verfügbaren Feldarbeitstage (FAT), die sich in zwei Gruppen einteilen lassen. In den älteren Methoden werden die FAT über landwirtschaftliche Aufzeichnungen wie Schlagkarteien und Arbeitstagebuchaufzeichnungen ermittelt und ergeben sich aus der Differenz der Kalendertage und der Schlechtwettertage, an denen keine Feldarbeiten durchgeführt werden können. In den neueren Methoden werden die FAT aus langfristigen meteorologischen Aufzeichnungen und den sich daraus ergebenden Klimadaten berechnet und geben an, wie viele FAT in einer bestimmten Region für die Ausführung von Arbeiten mit einer definierten Wahrscheinlichkeit zur Verfügung stehen. Auf diesen Methoden aufbauend entwickelte sich der KTBL-Datenkatalog für verfügbare FAT und Zeitspannen, der in den Jahren durch methodische Weiterentwicklungen

laufend verbessert wurde. Die Daten zu verfügbaren FAT und Zeitspannen der einzelnen Arbeitsgänge werden seit Mitte des letzten Jahrhunderts vom KTBL als Planungsnorm publiziert (Bokermann und Michalczyk, 1980). Aktuelle Daten werden zurzeit zweijährlich in der KTBL-Datensammlung "Betriebsplanung Landwirtschaft" veröffentlicht.

2.2.1 Herleitung durch Aufzeichnungen

Erste grundlegende Ergebnisse zu den Zeitspannen auszuführender Arbeiten und dazu verfügbarer FAT ermittelte Kreher (1953) durch die Auswertung von Aufzeichnungen landwirtschaftlicher Betriebe. Er nahm dabei durchschnittliche Bedingungen an, sodass die Daten durch Zu- und Abschläge an andere Standorte angepasst werden können. Aufbauend auf diesen Ergebnissen entwickelte sich der KTBL-Datenkatalog für verfügbare FAT und Zeitspannen, der in den Jahren auch durch methodische Weiterentwicklungen laufend verbessert wurde. Ein Nachteil aus der Herleitung durch Aufzeichnungen ist, dass zwar die tatsächliche Ausführung von Arbeiten bekannt war, nicht aber, ob diese nach fachlich guter Praxis und in der pflanzenbaulich optimalen Zeitspanne ausgeführt wurden, sodass Hesselbach und Kreiner (1966) und Lermer (1961) die Aufzeichnungen um phänologische und klimatische Aufzeichnungen ergänzten.

2.2.2 Berechnung durch Klimadaten

Aufgrund der unzureichenden Datenlage einzelner Standorte beziehungsweise Gebiete in Bezug auf langjährige Aufzeichnungen landwirtschaftlicher Betriebe, entwickelte Eimecke-Herbst (1975) ein Modell zur Berechnung standortbezogener FAT durch Klimadaten. Als entscheidender Faktor zur Bestimmung eines Tages als FAT dient dabei die Bodenfeuchte. Sie wird als wichtigster Faktor zur Durchführung von Arbeitsverfahren und der Bearbeitbarkeit des Bodens angenommen und durch ein hydrologisches Rechenmodell nach Feodoroff et al. (1971) ermittelt. Ein FAT ist demnach ein Tag mit nicht mehr als 3 mm fiktivem Niederschlag, wobei sich der fiktive Niederschlag eines Tages aus den summierten Differenzen des Niederschlages und der Verdunstung des jeweiligen Tages und der vier vorangegangenen Tage ergibt (siehe Gleichung 1).

$$NF_i = (N_i - V_i) + (i + 1)^{-2} * Sb (N_{i-1} - V_{i-1}) + (i + 2)^{-2} * Sb (N_{i-2} - V_{i-2}) + (i + 3)^{-2} * Sb (N_{i-3} - V_{i-3}) + (i + 4)^{-2} * Sb (N_{i-4} - V_{i-4}) \quad (1)$$

NF_i = fiktiver Niederschlag des Betrachtungstages i

N_i = Niederschlag des Betrachtungstages i

V_i = Verdunstung des Betrachtungstages i

Sb = rechnerische Anpassungsgröße für bodenbedingte Unterschiede der Versickerung von Niederschlägen

Um standortspezifische Ergebnisse zu erhalten, wird die Differenz aus Niederschlag und Verdunstung durch standortspezifische (Sb)-Faktoren für Sand-, Lehm- und Tonböden angepasst. Durch eine noch detailliertere Zuordnung, die neben den Bodenarten auch Grundwasser- und Staunässestufen berücksichtigen, ist es möglich, die FAT für einen Standort noch valider zu bestimmen, wie ein Abgleich der Ergebnisse mit Arbeitstagebüchern und Schlagaufzeichnungen ergibt (Bokermann und Michalczyk, 1980).

Neben der quantitativen Berechnung der FAT erfolgt bei dem Modell nach Eimecke-Herbst (1975) auch eine qualitative Einteilung. Hierzu werden FAT mit einem fiktiven Niederschlag von unter 3 mm in weitere vier Güteklassen unterteilt, denen einzelne Arbeitsverfahren mit speziellen Ansprüchen an die Bodenfeuchte und die Bearbeitbarkeit des Bodens anhand von Arbeitsaufzeichnungen zugeteilt werden (Eimecke-Herbst, 1975):

Güteklasse 1: 0 mm Niederschlag (Mähdrusch, Heuwerbung, Strohbergung)

Güteklasse 2: 0,1 – 1 mm (Drillen, Walzen)

Güteklasse 3: 1,1 – 2 mm (Eggen, Saatbettbereitung, Pflegearbeiten, Hackfruchternte)

Güteklasse 4: 2,1 – 3 mm (Pflügen, Spritzen, Düngerstreuen, Führen)

2.2.3 Flächendeckende Berechnung von verfügbaren Arbeitszeiten für witterungsabhängige Arbeiten nach KTBL

In einem Arbeitsprogramm Ende der 1980er und Anfang der 1990er Jahre ermittelte das KTBL die Arbeitszeiten witterungsabhängiger Arbeiten für die Bundesrepublik Deutschland. Dazu wurden die verfügbaren FAT von Augter (1990) berechnet. Im Zuge eines KTBL-Projekts wurde 1988 ein Modell aufbauend auf Klimabeobachtungen entwickelt, mit dem die verfügbaren FAT

vom 01. März bis zum 30. September einheitlich und flächendeckend für das gesamte Bundesgebiet berechnet wurden. Eine Neuerung zu bisherigen Modellen stellt das Bodenfeuchtemodell nach Dyer und Baier (1979) dar, welches durch die Aufteilung des oberen Bodens in zwei Schichten und die getrennte Berechnung der Verdunstung und des Wasserentzuges durch Pflanzen detaillierter konzipiert ist als das Modell nach Feodoroff et al. (1971) (Augter, 1990). Die Berechnung der verfügbaren FAT nach KTBL erfolgt nach Augter (1990) in sechs Arbeitsschritten:

Erster Schritt: Berechnung der Bodenfeuchte der Bearbeitungszone des Bodens aus Klimadaten

Die Berechnung der zur Verfügung stehenden FAT und die Einteilung des Bundesgebietes in Regionen ähnlicher Bedingungen bezüglich Klima- und Bodeneigenschaften erfolgt hierbei über das an die Verdunstungsverhältnisse der Bundesrepublik Deutschland angepasste Bodenfeuchtemodell nach Dyer und Baier (1979) aus Kanada. Wie in Abbildung 2 dargestellt, erfolgt die Berechnung der Bodenfeuchte auf täglicher Basis anhand der beiden obersten Bodenschichten (Schicht 1: 10 cm und Schicht 2: 50 cm) mit den abgebildeten Parametern.

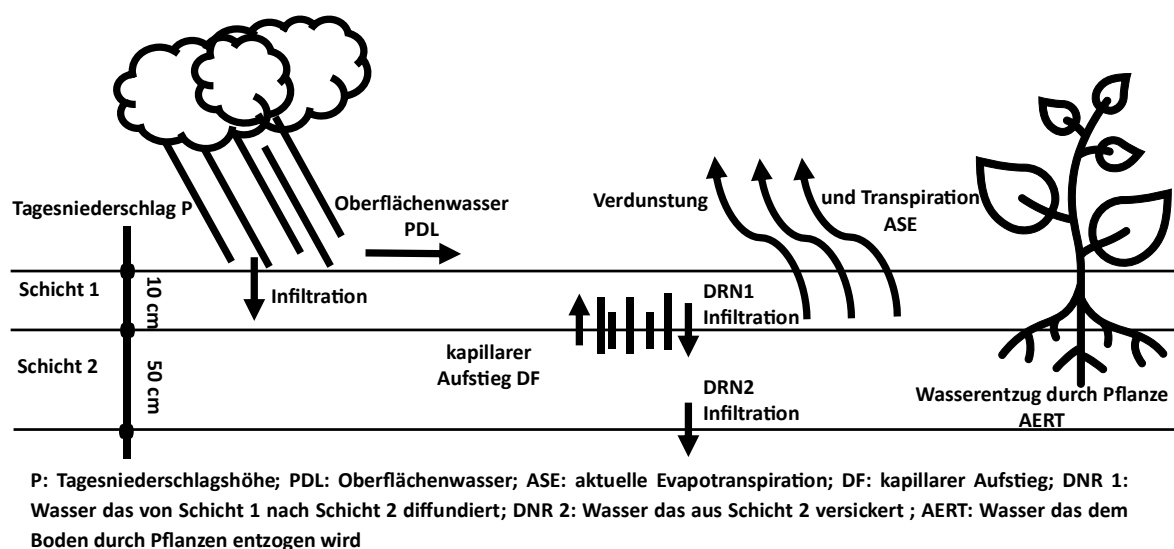


Abbildung 2: Einflussgrößen im Bodenfeuchtemodell nach Dyer und Baier (1979) (Quelle: Eigene Darstellung nach Spieß, 1999, S. 10)

Zweiter Schritt: Einteilung der verschiedenen Bodenarten in drei Bodenklassen

Die Bodenarten werden in die drei Bodenklassen leichte, mittlere und schwere Böden klassifiziert, da nicht für jede Bodenart FAT ausgewiesen werden können. Tabelle 1 und Tabelle 2 zeigen die Einteilung der Bodenklassen nach der Reichsbodenschätzung und nach DIN 4220 sowie die Abkürzungen der Bodenklassen.

Tabelle 1: Zuordnung der Bodenklassen zu den Bodenarten nach der Reichsbodenschätzung und nach DIN 4220 (Quelle: Augter, 1990)

Bodenklasse	Klassenzeichen der Bodenschätzung	Bodenart der Krume nach DIN 4220			
		Entstehungsarten			
		D	Lö	Al	V
leicht	S	S	-	S	S
	SI	SI2	Ut2	SI2	SI2
	IS	SI3	Ut2	Slu	SI3
	SL	SI4	Ut2	Slu	SI4
mittel	sL	Ls4	Ut3	Ut3	Ls4
	L	Ls3	Ut3	Ut4	Ls3
schwer	IT	Lts		Tu4	Lts
	T	Tu2		Tu3	TI

Tabelle 2: Abkürzungen zu der Bodenklassifizierung (Quelle: Spieß, 1999, S. 11)

Nach Bodenschätzung	Nach Entstehungsart	Nach DIN 4220
S = Sand	Al = Alluvial	S = Sand
SI = anlehmiger Sand	D = Diluvial	Slu = schluffig-lehmiger Sand
IS = lehmiger Sand	Lö = Löß	SI = lehmiger Sand
SL = starkt sandiger Lehm	V = Verwitterung	Ut = toniger Schluff
sL = sandiger Lehm		Ls = sandiger Lehm
L = Lehm		Lts = tonig-sandiger Lehm
IT = lehmiger Ton		TI = lehmiger Ton
T = Ton		Tu = schluffiger Ton

Dritter Schritt: Klassifizierung der Feldarbeiten in drei Kategorien unterschiedlicher Anspruchsstufen

Wie die Bodenarten werden auch die Feldarbeiten in drei Anspruchsstufen klassifiziert, um nicht für jede Feldarbeit die FAT einzeln auszuweisen. Tabelle 3 zeigt die Klassifikation von Feldarbeiten nach ihrem Anspruch an die Bodenfeuchte. FAT der Anspruchsstufe 1 stellen die höchsten und die der Anspruchsstufe 3 die niedrigsten Anforderungen an die Bodenfeuchte. Demnach eignen sich FAT, die zur Ausführung von Feldarbeiten der Anspruchsstufe 1 geeignet sind, auch zur Ausführung von Feldarbeiten der Anspruchsstufen 2 und 3 (KTBL, 2018, S. 253).

Tabelle 3: Zuordnung der Feldarbeiten zur Anspruchsstufe (Quelle: KTBL, 2018, S. 253)

Anspruchsstufe	Feldarbeiten
1	Ernte von Getreide, Klee, Grassamen, Leguminosen, Ölfrüchten und Raufutter
2	Ernte von Hackfrüchten und Mais, Grundbodenbearbeitung vor der Aussaat, Saatbettbereitung, Saat (Pflanzen), Walzen vor und nach der Saat, Mineraldünger streuen, mechanische Pflegearbeiten, Pflanzenschutzarbeiten
3	Pflügen zur Winterfurche, Einarbeiten von Ernterückständen und Zwischenfrüchten, Stoppelbearbeitung, organischen Dünger ausbringen

Vierter Schritt: Festlegung von Obergrenzen der Bodenfeuchte für die drei Kategorien der Feldarbeiten anhand von Arbeitstagebüchern und Schlagaufzeichnungen

Aus Aufzeichnungen landwirtschaftlicher Betriebe werden die Obergrenzen der jeweiligen Anspruchsstufen der Feldarbeiten und der drei Bodenklassen bestimmt. Tabelle 4 zeigt die bestimmten Obergrenzen der Bodenfeuchte der ersten Schicht in mm Niederschlag der Anspruchsstufen der Feldarbeit und der jeweiligen Bodenklasse.

Tabelle 4: Obergrenzen der Bodenfeuchte in mm (Quelle: Augter, 1990)

	Anspruchsstufe der Feldarbeit		
Bodenklasse	1	2	3
leicht	9	13	16
mittel	16	20	24
schwer	15	19	23

Eine Untergrenze der Bodenfeuchte zur Ausführung von Feldarbeiten wurde nicht definiert, da Fälle einer Verhinderung der Ausführung einer Feldarbeit wegen zu geringer Bodenfeuchte so selten vorkommen, dass sie nach Augter (1990) nicht planungsrelevant sind. Weiter werden Tage (im Frühjahr), bei denen der Boden schneebedeckt ist und/oder die Temperatur um 14:00 Uhr bei unter -2 °C liegt, nicht als FAT bewertet.

Fünfter Schritt: Zusammenfassung von Gebieten mit einheitlicher Anzahl an verfügbaren FAT in Klimaregionen

Wie in den Schritten 3 und 4 wird hier ebenfalls eine Zusammenfassung vorgenommen, um die FAT nicht für jede einzelne Klimastation, sondern für größere Gebiete zu berechnen. Dazu erfolgt die Berechnung für die Gebiete anhand der Daten der Klimastationen, in denen einheitliche Arbeitsbedingungen hinsichtlich der Bodenfeuchte vorherrschen. Mit dieser Vorgehensweise konnte unter Berücksichtigung der Höhenabstufungen eine Karte von Deutschland mit 12 voneinander abgegrenzten Klimagebieten, in denen einheitliche Arbeitsbedingungen vorherrschen, erstellt werden (Augter, 1990).

Sechster Schritt: Berechnung der verfügbaren FAT für die Klimaregionen

Die Berechnung der FAT wurde mit Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) aus den einzelnen Klimastationen innerhalb eines Klimagebietes für die Jahre 1949 bis 1988 durchgeführt. Dazu wurde aus den Verteilungen der einzelnen Klimastationen die Gebietsverteilung berechnet. Da es sich bei den Gebietsverteilungen um Stichproben mit bestimmten Erwartungsbereichen handelt, wurden die FAT berechnet, mit denen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % in 60 %, 70 %, 80 % und 90 % aller Jahre mindestens gerechnet werden kann. Die FAT werden

halbmonatlich für die Monate März bis November für die jeweils drei Kategorien der Anspruchsstufen und des Bodens für die 12 Klimagebiete in Deutschland berechnet (Augter, 1990 und KTBL, 2018, S. 251 ff.).

2.3 Aussaatfenster und Erträge

Wichtige pflanzenbauliche Steuerungsmaßnahmen für die Bestandsführung und für die Ertragsbildung sind die Sortenwahl, die Aussaatstärke und die Wahl des Aussaattermins (Schäfer und Merker, 2012). Das Aussaatzeitfenster von Pflanzen ist aus pflanzenbaulicher Sicht vor allem von der Witterung, den Bodeneigenschaften und den der Aussaat folgenden Vegetationstagen abhängig. Die geläufigste Methode zur Definition von klimatischen beziehungsweise langjährigen Aussaatfenstern zur Aussaat ist die Ableitung aus historischen Beobachtungswerten und Aufzeichnungen. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) (2021) betreibt hierzu eine stationsbasierte Datenbank, bei der jährlich die Eintrittsdaten verschiedener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen von der Bestellung bis zur Ernte dokumentiert werden. Neben der Ableitung aus historischen Daten ist die Berechnung der Entwicklungsstadien von Pflanzen und den dazugehörigen Arbeitsverfahren mit Hilfe von Temperatursummen möglich (Kuhlmann et al., 1987).

Nachfolgend erfolgt die Darstellung der Aussaatzeitfenster mit den dazugehörigen Erträgen für die in dieser Arbeit ausgewählten Kulturpflanzen Winterweizen, Sommergerste, Mais und Zuckerrübe.

2.3.1 Winterweizen

Durch die enorme Saateittoleranz hat der Winterweizen das längste Saatzeitfenster unter allen Getreidearten, was sich positiv auf die arbeitswirtschaftliche Situation auswirkt, da Arbeitsspitzen geglättet werden können (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2015).

Im Wintergetreidebau ist der Saattermin und die Saatstärke von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Der Aussaattermin wird vor allem durch Standort, Sortenwahl und Betriebsausstattung beeinflusst. Aber auch Wechselwirkungen zwischen Saattermin und Saatstärke sowie Risiken durch den Saattermin gilt es zu berücksichtigen. Besonders die Verunkrautung und das

Auftreten von Krankheiten lassen sich durch die Wahl des Saattermins beeinflussen. Grundsätzlich liegt im Oktober der optimale Aussaatzeitpunkt. Dies gilt vor allem für Mittelgebirgslagen, wobei die Aussaat auf schweren Böden auch schon im September erfolgen kann. Späteste Saatzeitpunkte sind bei entsprechender Witterung bis Dezember und Januar möglich. Auch wenn frühe und späte Aussaaten abhängig von Bodenart und Witterung zu guten Erträgen führen und der Winterweizen geringe Ansprüche an die Saatzeit stellt, sollte die Saat zu optimalen und standortangepassten Bedingungen durchgeführt werden, da vor allem mit der frühen Aussaat ein erhöhtes Anbaurisiko einhergeht, welchem aber mit zusätzlichem Kontroll- und Pflanzenschutz Aufwand begegnet werden kann (Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion, 2020a, S. 1). So begünstigt die frühe Aussaat den Auflauf vieler Unkrautarten und führt zu einem stärkeren Unkrautbesatz im Vergleich zur späten Aussaat (Pallutt, 1994). Frühe Saattermine führen zudem zu einem höheren Pathogendruck, vor allem durch pflanzenpathogene Viren (Oberforster, 2002) und Pilze (Heß, 2006). Bei zu später Saat droht eine mangelnde Bestockung der Pflanzen zur Überwinterung (Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion, 2020a, S. 1).

Gemäß der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (2020) kann zwischen folgenden Aussaaten unterschieden werden: sehr frühe (25.08.-05.09.), frühe (05.09.-20.09.), normale (20.09.-07.10.) und späte (05.10.-20.10.). In Schleswig-Holstein gilt der 25.09. in der Marsch als optimaler Saatzeitpunkt und im östlichen Hügelland der 15.09.-25.09. als früher, der 25.09.-10.10. als normaler und die Termine nach dem 15.10. als späte Saattermine (Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 2020).

Ein Ertragsversuch in Gadegast ergab für Saattermine zum 06.09. 85,00 dt/ha Ertrag, zum 13.09. 87,50 dt/ha Ertrag, zum 02.10. 89,50 dt/ha Ertrag und zum 17.10. 88,40 dt/ha Ertrag. Es zeigt sich, dass unter allen Wintergetreiden der Saattermin beim Winterweizen den geringsten Einfluss auf den Kornertrag hat und dass auch späte Saattermine zu keinem starken Ertragsabfall führen (Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2014).

Koch (2018) kommt in einem mehrjährigen Standortversuch in Asendorf, Leutewitz und Boldebuck zu dem Ergebnis, dass sich bei späten Saatterminen die Vegetationszeit bis zum Schossen verkürzt, was tendenziell zu einer geringeren Bestandsdichte und Mindererträgen von rund 10,00 % führt.

Bei einem anderen Versuch in Bernburg gibt die Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (2012) folgende Erträge nach Saatterminen an: Saattermin Mitte September ca. 95,00 dt/ha, Saattermin Anfang Oktober ca. 87,50 dt/ha, Saattermin Mitte Oktober ca. 85,75 dt/ha und Saattermin Anfang November ca. 77,00 dt/ha.

Ein dreijähriger Versuch der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (2011) ergibt folgende Erträge für die untersuchten Saattermine von Winterweizen: bis zum 09.09. 69,80 dt/ha, für den 10.09. bis zum 19.09. 78,20 dt/ha, für den 20.09. bis zum 30.09. 74,70 dt/ha und nach dem 30.09. 67,40 dt/ha.

2.3.2 Sommergerste

Aufgrund der kurzen Vegetationszeit empfiehlt sich für die Sommergerste eine möglichst frühe Aussaat, sobald witterungsbedingt möglich ab Ende Februar. Da Sommergerste sehr empfindlich auf Strukturschäden des Bodens, wie Bodenverdichtungen oder die Aussaat in ein zu feuchtes Saatbeet reagiert, ist es wichtig, auf die Befahrbarkeit des Bodens zu achten, um eine optimale Saatbettbereitung zu gewährleisten (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2001, S. 135). Die optimale Aussaatspanne liegt zwischen Ende Februar und Ende März. Je früher die Aussaat erfolgt, desto länger ist die Wachstumsphase im Kurztag, welche sich positiv auf die Bestockung, das Tiefenwachstum der Wurzeln, die Ausdifferenzierung der Blütenanlagen und die Trockenresilienz auswirkt (Tschischej, 2017). Aussaattermine nach Anfang April führen zu einer kürzeren Bestockungsphase, einer späteren Reife sowie zu schlechteren Eiweißwerten und sind daher zu vermeiden (Agrarheute, 2015).

Bei einem Versuch in Neu-Eichenberg zeigt sich, dass eine frühe Bodenbearbeitung im Februar zu besseren Erträgen durch eine günstigere Stickstoffverfügbarkeit im Frühjahr führt und dass der Aussaattermin bei der Sommergerste einen größeren Einfluss auf die Ertragsbildung als die Fruchtfolge hat (Schmidt, 1997).

Ein Versuch in Alberta (Kanada) ergab, dass späte Saattermine bei allen untersuchten Sorten durch eine kürzere Vegetationsperiode und eine verkürzte Füllperiode für das Korn zu einem Ertragsrückgang führen (Juskiw und Helm, 2003).

Ein Versuch aus Irland, bei dem unter anderem die Ertragsunterschiede zwischen einer Aussaat Ende Februar bis Anfang März und einer drei bis fünf Wochen späteren Aussaat untersucht wurden, kam ebenfalls zum Ergebnis, dass bei späteren Saatterminen der Ertrag zurückgeht. Bei dem vierjährigen Versuch auf drei Standorten zeigte sich, dass der Ertrag der späteren Aussaat durchschnittlich ca. 4,59 % niedriger lag (Conry, 1998).

Ein mehrjähriger Versuch in Bernburg kommt zum Ergebnis, dass Sommergetreide je nach Abtrocknung des Bodens, möglichst früh gesät werden sollte, um hohe Erträge zu liefern. Es ergeben sich aus einem Mittel von vier Jahren folgende Erträge: Anfang März ca. 62,25 dt/ha, Mitte März ca. 60,00 dt/ha, Anfang April ca. 53,00 dt/ha und Mitte April ca. 48,00 dt/ha (Boese, 2001).

2.3.3 Mais

Maßgeblich für die Aussaat von Mais ist eine Bodentemperatur von ca. 8-10 °C des Saathorizontes, welche standortspezifisch zwischen Anfang April bis Anfang Mai erreicht wird. In der Regel wird die Aussaat ab Mitte April bis Mitte Mai durchgeführt, wobei sich die zweite Aprilhälfte als günstigste Aussaatzeit erwiesen hat (Deutsches Maiskomitee, 2020). Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2013) empfiehlt die Aussaat so früh wie möglich ab einer anhaltenden Bodentemperatur von 8 °C in 5 cm Bodentiefe. Aussaaten bis in das erste Drittel des Monats Mai führen zu einer sicheren Ausreife, wobei bei Kapazitätsengpässen der Mechanisierung eine Vorverlegung des Aussaatbeginns späteren Aussaatterminen vorzuziehen ist. Eine späte Saatzeit führt zu einer verkürzten Vegetationsdauer, zu einem höheren Kolbenansatz durch ein verstärktes Längenwachstum aufgrund des Langtageinflusses, mangelnder Ausreife mit unzureichender Stärkeeinlagerung und damit einhergehenden Qualitätsproblemen und Strukturschäden wie beispielsweise durch Lagerbildung. Eine zu frühe Aussaat führt zu verzögerter Keimung, Schwächung des Keimlings, unregelmäßigen und verlangsamten Feldaufgang, gehemmten Wurzelwachstum und einer verringerten Nährstoffaufnahme (KWS, 2020b).

Nach Saaten-Union (2021) treten aufgrund der optimalen Ausnutzung der Wärmesummen für die Ertragsbildung immer frühere Aussaattermine ein, was zu einer Zunahme von Kälteschäden, langsamerer Jugendentwicklung und damit einhergehenden Verlusten führen kann.

Noch höhere Verluste entstehen aber bei späten Aussaaten ab Anfang bis Mitte Mai durch verminderte Abreife. Vor allem ist bei späten Saatterminen mit Qualitätseinbußen beim Energieertrag und Stärkegehalt zu rechnen. Aus der Zusammenfassung diverser Versuche ergibt sich eine Reduktion der Gesamttrockensubstanz von 8 % bei späten Saatzeiten (Anfang Mai) und bis zu 14 % (Mitte Mai), verglichen mit der optimalen Saatzeit im April.

Auch Schmidt (2013) hebt die Vorteile einer möglichst frühen Aussaat hervor, da sie zu standfesten, gesunden und stressstabilen Beständen führt. Zudem ermöglicht die längere Zeit zur Korneinlagerung qualitativ hochwertige Erträge. Späte und sehr späte Aussaaten führen zu weniger Blattmasse und Ertrag. Bei Spätsaaten kommt der Anpassung der Reifezahl an den Standort eine wichtige Bedeutung zu, um die Siloreife sicher zu erreichen.

Ein mehrjähriger Versuch in Bernburg zeigt, dass bei frühzeitiger Erwärmung des Bodens eine frühe Aussaat zu Ertrags- und Qualitätssteigerungen führt, aber verglichen mit späten Saatterminen weniger ertragswirksam ist. So ergeben sich folgende durchschnittliche Trockenmasseerträge nach Saatterminen: Am 8.04. ca. 196,00 dt/ha, am 16.04. ca. 197,00 dt/ha, am 23.04. ca. 192,00 dt/ha, am 30.04. ca. 181,00 dt/ha und am 7.05. ca. 175,00 dt/ha (Boese, 2006).

2.3.4 Zuckerrübe

Bei der Aussaat ist die Mindestkeimtemperatur von 5 °C zu berücksichtigen, wobei höhere Temperaturen die Keimung und den Feldaufgang beträchtlich verbessern, sodass Diepenbrock et al. (2016) vor allem sich leicht erwärmende Böden für den Zuckerrübenanbau empfehlen. Die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2015) empfiehlt ebenso die Aussaat ab 5 °C Bodentemperatur, wobei die Aussaat nicht unmittelbar nach signifikanten Niederschlägen erfolgen soll, um Verschlämmungen zu vermeiden.

Eine möglichst frühe Aussaat sichert durch eine lange Vegetationsphase quantitativ und qualitativ hohe und gute Erträge. Die Keimung des Samens beginnt ab einer Bodentemperatur von 5-6 °C, wobei eine Bodentemperatur von 10-12 °C optimal für einen zügigen und gleichmäßigen Aufgang ist, welche in der Regel zwischen Mitte März und Mitte April gegeben ist. Gegen frühe Aussaattermine, vor allem in Gebieten mit Spätfrostgefahr, spricht die Frostempfindlichkeit der Zuckerrüben während des Auflaufens im Keimblattstadium (KWS, 2020a).

Wenn entsprechende Bodenverhältnisse vorliegen, kann ab dem 25.03. mit der Aussaat begonnen werden, um eine zügige Entwicklung mit frühem Reihenschluss und geringen Verlusten durch Nematoden zu gewährleisten. Die Saatzeitspanne für Zuckerrüben lässt sich in frühe (bis 25.03.), optimale (26.03.–10.04.), mittlere (11.04.–25.04.) und späte (ab 26.04.) Aussaat unterteilen (Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion, 2020b).

Die höchsten bereinigten Zuckererträge werden durch Aussaaten von Ende März bis Mitte April erzielt. Langjährige Versuchsreihen auf verschiedenen Standorten ergeben Ertragsverluste von 0,60 % bis 1,20 % pro Tag bei späterer Aussaat, da eine rasche Jugendentwicklung und frühes Blattwachstum entscheidend für die Ertragsbildung sind. So ergibt sich bei früher Aussaat ein bereinigter Zuckerertrag von 13,80 t/ha, bei mittlerer Aussaat von 13,60 t/ha und bei später Aussaat von 12,50 t/ha (Strube, 2021).

Tabelle 5 zeigt die von Winner (1981, S. 130-131) ermittelte Ertragsminderung bei Aussaatverzögerungen. Demnach sind die Ertragsverluste umso höher, je später die Aussaat erfolgt.

Tabelle 5: Minderung des Rübenenertrages bei verspäteter Aussaat (Quelle: Eigene Darstellung nach Winner, 1981, S. 130-131)

Saattermin	Minderung (%) je Zeitabschnitt
Mitte März	0
1. Aprilhälfte	5-15
2. Aprilhälfte	10-30
1. Maiwoche	20-40

2.4 Betriebswirtschaft und Kosten

Zur Berechnung und Analyse von Produktions- und Anbauverfahren in der Landwirtschaft haben sich in der deutschsprachigen Literatur Verfahren etabliert, zu welchen im Folgenden ein kurzer Überblick gegeben wird.

2.4.1 Betriebszweigabrechnung in der Landwirtschaft

Die reine Buchhaltung hat sich für die wirtschaftliche Analyse landwirtschaftlicher Betriebe als mangelhaft erwiesen, da sie nur zur Bewertung des Gesamtbetriebes geeignet ist, sodass sich

die Betriebszweigabrechnung in der Land- und Forstwirtschaft als gängiges Verfahren der Leistungs- und Kostenrechnung etabliert hat, da sie auch zur Beurteilung von landwirtschaftlichen Mehrproduktbetrieben geeignet ist. Die Betriebszweigabrechnung ermöglicht die Bewertung der Zusammensetzung der Leistungen und Kosten der einzelnen Betriebszweige und somit die ökonomische Analyse einzelner Betriebszweige (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2018, S. 6 ff.).

Nach der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (2004, S. 11 ff.) werden Betriebszweige durch die Zuordnung von Kosten und Leistungen sowie die Strukturierung der Leistungen und Kosten hinsichtlich ihrer Veränderlichkeit definiert. Dieses einheitliche Verfahren ist auch für zwischenbetriebliche Vergleiche geeignet.

Nach der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (1999, S. 11 ff.) lassen sich Betriebszweigabrechnungen grundsätzlich in Teil- und Vollkostenrechnung durchführen. Aufgrund des geringeren Aufwands bei der Durchführung ist in der landwirtschaftlichen Praxis vor allem die Teilkostenrechnung anzutreffen. Die Teilkostenrechnung erfasst nur die variablen Kosten, so dass ihre gesamtwirtschaftliche Aussagekraft nur zur kurz- und mittelfristigen ökonomischen Beurteilung geeignet ist. Die Vollkostenrechnung hingegen berücksichtigt auch die fixen Kosten, für welche die Buchführung als Datengrundlage dient. Die Vollkostenrechnung ist zur langfristigen ökonomischen Beurteilung geeignet, benötigt aber durch die Aufteilung fixer Kosten, die keinem Betriebszweig direkt zuordenbar sind (auch Gemeinkosten), durch Verteilungsschlüssel einen erheblichen Mehraufwand bei der Durchführung (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1999, S. 11 ff.).

2.4.2 Die Leistungs-Kostenrechnung

Die Leistungs-Kostenrechnung nach dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) ist ein etabliertes Verfahren für landwirtschaftliche Anbau- und Produktionsverfahren. Sie kann sowohl zur Kalkulation vergangener als auch zur Planung zukünftiger Produktionsverfahren eingesetzt werden. KTBL unterteilt die Kostenrechnung in die Teilkostenrechnung und die Vollkostenrechnung, wobei die Teilkostenrechnung nur die direkt zuordenbaren Einzelkosten beinhaltet und der kurz- bis mittelfristigen Planung der Produktionsverfahren dient, während die Vollkostenrechnung zusätzlich die Gemeinkosten - jene Kosten, die

im Betrieb anfallen, aber keinem Produktionsverfahren direkt zuordenbar sind - beinhaltet. Die Zuteilung der Gemeinkosten erfolgt durch Verteilungsschlüssel. Die Vollkostenrechnung dient der langfristigen Planung von Produktionsverfahren in der Landwirtschaft (KTBL, 2017, S. 1-5).

Abbildung 3 zeigt die Kostengliederung nach KTBL (2017, S. 3). Die Einzelkosten werden in variable und fixe Kosten unterteilt. Die Direkt- und die Arbeitserledigungskosten setzen sich aus den Kosten für Dienstleistungen für Arbeitsmittel und für Arbeitskräfte zusammen und gehören zu den variablen Kosten. Die fixen Einzelkosten bestehen aus den Gebäude-, den Flächen- und den Rechtenkosten. Alle Direkt-, Arbeitserledigungs-, Gebäude- und Flächenkosten, die auf der Ebene des Gesamtbetriebes anfallen, aber keinem einzelnen Produktionsverfahren zuordenbar sind, bilden die Gemeinkosten (KTBL, 2017, S. 4). Auf der Ebene unter den Einzelkosten wird ersichtlich, aus welchen Kostenteilen sich diese zusammensetzen. Demnach können sich die Kosten für Arbeitsmittel aus Kosten für Maschinen, Betriebsstoffe, Reparaturen, Miete, Leasing, Zinsen, Abschreibungen, Versicherungen, Steuern, technische Überwachung und Wartung zusammensetzen.

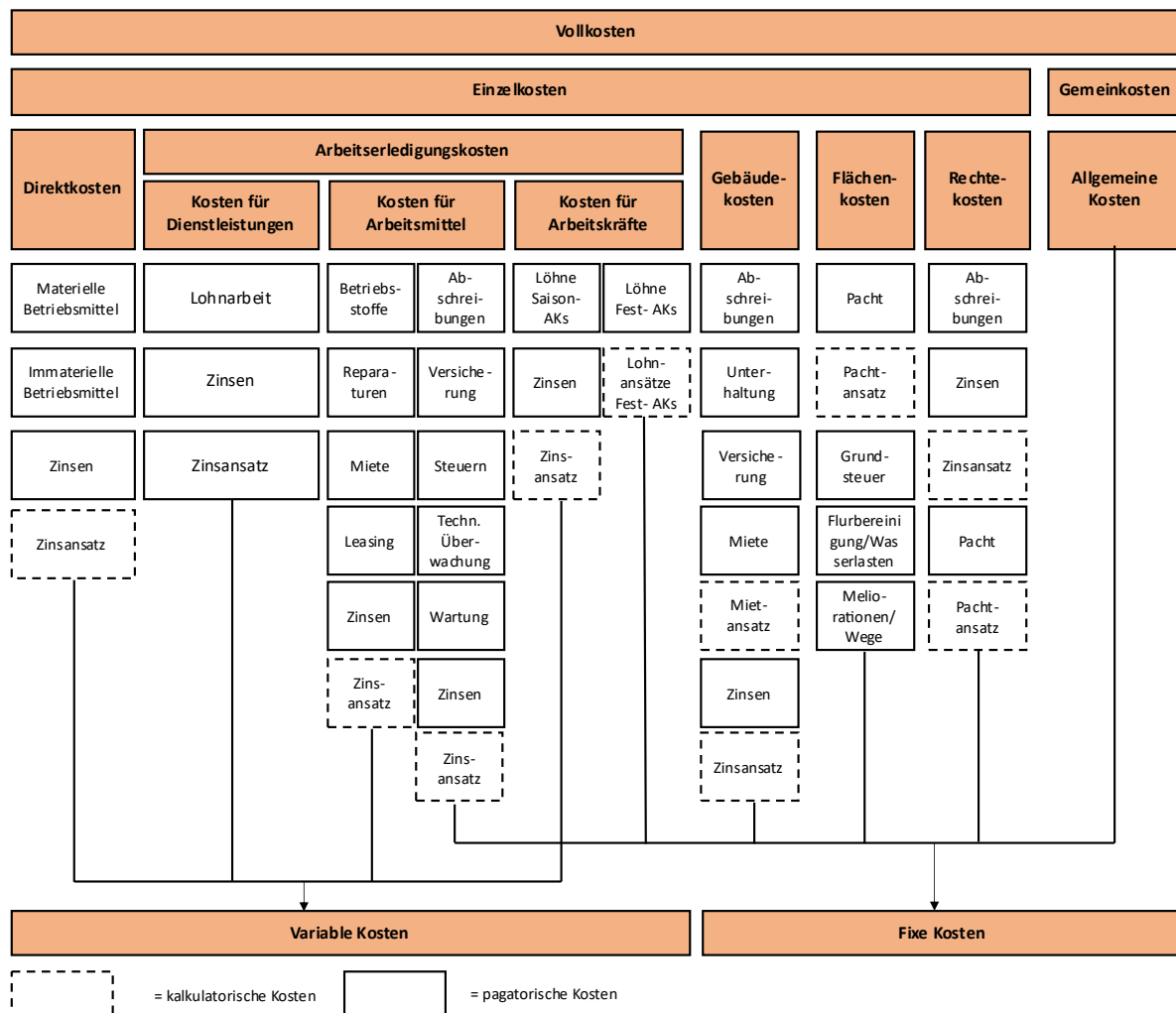


Abbildung 3: Kostengliederung der Produktionsverfahren (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2017, S. 3)

Abbildung 4 zeigt das KTBL-Schema der Leistungs-Kostenrechnung auf Produktionsebene. Die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungs-Kostenrechnung sind Teil der Leistungs-Kostenrechnung. Die Berechnung erfolgt, indem von der Marktleistung die Direktkosten sowie die fixen und variablen Arbeitserledigungskosten abgezogen werden. Die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen stehen folglich zur Deckung der fixen Gebäude-, Flächen-, Rechte- und Allgemeinkosten zur Verfügung. Im Gegensatz zum Deckungsbeitrag finden die fixen Arbeitserledigungskosten und damit die Effekte durch die Auslastung an Arbeitsmitteln Berücksichtigung bei den Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen. Die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung ist eine Kennzahl für die Wirtschaftlichkeit eines

Produktionsverfahrens unabhängig von Eigentumsverhältnissen und Arbeitsverfassung (KTBL, 2017, S. 5).

Leistung L	Direktkosten K.d			Variable Kosten Kv		Einzel- kosten eK	Voll- kosten K
	Direkt- kostenfreie Leistung DKfL	Variable Arbeitser- ledigungs- kosten Kv.ae	Arbeitser- ledigungs- kosten K.Ae				
				Deckungs- beitrag DB	Direkt- und arbeitser- ledigungs- kostenfreie Leistung DAKfL		
	Gebäudekosten K.geb						
	Flächenkosten K.geb						
	Rechtekosten K.rechte						
	Einzel- kostenfreie Leistung EKfL	Allgemeine Kosten K.allg					
Kalkulatorischer Gewinnbeitrag							

Abbildung 4: Schema der Leistungs-Kostenrechnung auf Produktionsverfahrensebene (Quelle: Eigene Darstellung nach Schroers und Krön, 2019, S. 16)

2.5 Maschinenkapazitäten als Risikomanagementinstrument

Die Risiken in der Verfahrensausgestaltung von Maschinenkapazitäten sind neben Umwelt- und Marktrisiken wichtige Faktoren bei einem ganzheitlichen Risikomanagementsystem in der Landwirtschaft (Bochtis et al., 2014, Prochnow et al., 2015 und De Toro et al., 2012). Die Landwirtschaft zählt zu den komplexesten und risikoreichsten Branchen, da sie von zahlreichen Unsicherheiten wie Wetterbedingungen, Marktschwankungen, technologischen Entwicklungen und politischen Entscheidungen beeinflusst wird (Patrick, 1998). Maschinenüberkapazitäten stellen in der Landwirtschaft ein Risiko für Betriebe dar, da sie zu hohen Investitions- und Fixkosten sowie zu ungenutzten Maschinenressourcen führen können (Mimra et al., 2017; Donaldson, 1968; Ramaratnam et al., 1986 und Baker et al., 1975). Maschinenüberkapazitäten entstehen durch Anschaffungen von Maschinen und Geräten, die für den Betriebstyp und die Art und Weise der Produktion unangemessen sind (Brandes, 1967 und Lak und Almassi, 2011).

Nach Diao et al. (2016), Belton et al. (2021) und Peng et al. (2022) ermöglichen hohe Maschinenkapazitäten und Überkapazitäten eine höhere Flexibilität und schnellere Anpassung an unvorhergesehene Ereignisse. Nach Krummenacher (1979, S. 63-64) bergen auch Maschinenunterkapazitäten Risiken wie die Gefahr von Kosten, die durch Ernteauffälle oder Ernteverzögerungen verursacht werden können. Darüber hinaus können laut Kehl et al. (2021, S. 18) und Mashkov et al. (2019) Maschinenunterkapazitäten in der Landwirtschaft zu ineffizienten Prozessen und Ressourcenverlusten führen. Bei der Planung und Gestaltung von Arbeits- und Maschinenkapazitäten spielt laut Yao-Chi et al. (2003) und Miller et al. (2004) das Risikoverhalten von Landwirten eine entscheidende Rolle. Demnach bevorzugen manche Landwirte trotz höherer Kosten eine höhere Maschinenausstattung, um Ernteauffällen oder Ernteverzögerungen vorzubeugen, während andere Landwirte bereit sind, ein höheres Risiko für die Produktion einzugehen, um Kosten zu sparen. Die Ausgestaltung von Maschinenkapazitäten ist also ein wichtiger Faktor gegen die Absicherung von Risiken, wobei Landwirte bei ihren Entscheidungen individuelle Risikopräferenzen berücksichtigen. Das Risikoverhalten von Landwirten hängt im Allgemeinen von individuellen Präferenzen sowie von Faktoren wie der Art der Tätigkeit und den Produktionsbedingungen ab (Miller et al., 2004). Zahlreiche Studien haben jedoch gezeigt, dass Landwirte in der Regel risikoavers sind und dazu neigen, sich gegen Unsicherheiten abzusichern, indem sie Maschinenüberkapazitäten vorhalten (Donaldson, 1968; Ramaratnam et al., 1986; Baker et al., 1975; Lips und Bolli, 2007).

Maschinenkapazitäten können in der Landwirtschaft als Risikomanagementinstrument eingesetzt werden, um Risiken zu minimieren und die Produktionseffizienz zu maximieren. Eine ausgewogene Verfahrensausgestaltung und Risikotragung sind von entscheidender Bedeutung, um Maschinenkapazitäten möglichst effektiv und sicher zu nutzen (Richard, 1976). Nach Bochtis et al. (2014) und Baker et al. (1975) sind eine optimierte Planung und die gezielte Koordination von Arbeits- und Verfahrensprozessen geeignete Maßnahmen für die Gestaltung eines effektiven Maschineneinsatzes sowie der Vermeidung von Über- und Unterkapazitäten. Darüber hinaus kann nach Yao-Chi et al. (2003) eine gut strukturierte Arbeitsorganisation sowie eine sorgfältige Planung zur Einsparung von Maschinen und Arbeitskräften führen. Nach Mishra und Satapathy (2023) und Hanf (1985) kann insbesondere durch regelmäßige Wartungsarbeiten an Maschinen das Risiko von Ausfallzeiten und die Höhe der Reparaturkosten reduziert werden. Nach Lips und Bolli (2007) können Maschinenkapazitäten als eine Art Ver-

sicherung angesehen werden, mit der Landwirte ihre Produktionskapazitäten und Erträge absichern. Die Maschinenkosten und das Risiko können ebenfalls durch die gemeinschaftliche Nutzung von Maschinen aufgeteilt werden (Aurbacher et al., 2007).

Insgesamt ist es belangvoll die Vor- und Nachteile der Ausgestaltung der Maschinenüberkapazitäten sowie das individuelle Risikoverhalten der Landwirte bei der Entscheidungsfindung zu beachten. Durch eine durchdachte Verfahrensausgestaltung und die Nutzung von Risikotragungsmechanismen können Über- und Unterkapazitäten reduziert und die Effizienz und Rentabilität der Landwirtschaft gesteigert werden.

Ertragsverluste und witterungsbedingtes Risiko

In der Literatur gibt es eine Vielzahl von Studien, die sich mit der Austauschbeziehung zwischen der Maschinenanzahl und deren Kosten sowie mechanisierungsbedingten Ertragsverlusten in Abhängigkeit vom Wetterrisikos beschäftigen. Die überwiegende Mehrzahl der Studien befasst sich dabei mit den Maschinen zur Ernte. In dieser Arbeit liegt das Augenmerk nicht auf den durch die Ernte verursachten Ertragsverlusten, sondern auf denen, die durch die Aussaat entstehen. Da aber hierzu in der Literatur noch keine umfassenden Erkenntnisse vorliegen und sich die Beziehung zwischen Maschinenanzahl und Ertragsverlusten grundsätzlich von der Ernte auf die Aussaat übertragen lässt, wird hier der aktuelle Wissensstand zu dieser Thematik in Bezug auf die Ernte dargestellt.

Nach Lips und Bolli (2007) führt eine ansteigende Anzahl von Erntemaschinen zur Weizenernte zu einer Reduktion von Ernteverlusten aufgrund schlechter Wetterverhältnisse, bei gleichzeitig steigenden Maschinenkosten. Das Wetterrisiko wird mit Hilfe eines deterministischen sowie eines stochastischen Ansatzes durch eine Monte-Carlo-Simulation hinsichtlich der Ertragsverluste und der Maschinenkosten analysiert. Dabei wird die optimale Menge an Erntemaschinen und die optimalen (minimalen) Erntekosten je 1000 ha bestimmt. Bei der Monte-Carlo-Simulation führen die Risiken schlechter Wetterbedingungen zur Ernte, zu höheren Kosten, während die Mindestkosten in beiden Ansätzen zum gleichen Ergebnis führen, nämlich dem errechneten kostenoptimalen Einsatz an Erntemaschinen. Lips und Bolli (2007) kommen

zum Ergebnis, dass die berechnete Maschinendichte unterhalb der tatsächlichen Maschinendichte liegt und Landwirte bereit sind, als eine Art Versicherung für die Ernte höhere Kosten als erforderlich zu zahlen, um sich gegen Wetterrisiken abzusichern.

Auch Donaldson (1968) und Ramaratnam et al. (1986) stellen bei der Berechnung und Beurteilung der Kapazität an Erntemaschinen unter Berücksichtigung des Wetterrisikos durch stochastische Simulation fest, dass Landwirte risikoavers handeln, sodass die tatsächliche Erntemaschinenkapazität wesentlich über der modellierten kostenminimalen Erntemaschinenkapazität liegt. Hierdurch ergibt sich ein massives Einsparpotential durch adäquates Verhalten gegenüber dem Risiko. Weiter zeigte sich bei Donaldson (1968) und Lips et al. (2008), dass sich gute Witterungsbedingungen nur geringfügig auf die Kosten auswirken, während der Einfluss von schlechten Witterungsbedingungen auf die Kosten erheblich ist. Lips und Bolli (2007) sowie Lips et al. (2008) bauen ihre Berechnungen auf dem von Luder (1984) ermittelten verfügbaren Zeitfenster zum Mähdrusch und die dafür notwendigen Maschinenkapazitäten auf. Luder (1984) unterscheidet dabei die Erntezeiträume nach unterschiedlichem Erntezeitpunkt und unterschiedlichen Ertragsverlusten.

Lips et al. (2008) zeigen durch die Berechnung der optimalen Erntekosten des Kompromisses zwischen Maschinenkosten und Ernterisiken mittels Monte-Carlo-Simulation, dass es durch eine unterstellte Erhöhung der verfügbaren Zeitfenster zum Mähdrusch durch den Klimawandel zu besseren Erntebedingungen, weniger Ernteverlusten, einer Reduktion der optimalen Maschinendichte und damit zu insgesamt geringeren Kosten kommt. Neben Lips et al. (2008) kommen auch Donaldson (1968) und Davis und Patrick (2002) zum Ergebnis, dass stochastische Simulationen von Maschinenkapazitäten geeignet sind, auch Berechnungen für prognostizierte Veränderungen in der Zukunft durchzuführen.

2.6 Die Windauflage

Zum Zeitpunkt dieser Arbeit ist die Windauflage erst seit wenigen Jahren in Kraft, wodurch der Wissensstand in der Literatur zu diesem Thema noch begrenzt ist.

Das für die Zulassung für Pflanzenschutzmittel zuständige Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit erteilt Auflagen und Anwendungsbestimmungen für die einzelnen

Pflanzenschutzmittel. Wurde die Windauflage NH681, welche die Aussaat für gebeiztes Saatgut nur bei Windgeschwindigkeiten unter 5 m/s = 18 km/h (schwache Brise) erlaubt, bisher vor allem bei der Zulassung insektizider Beizen vorgeschrieben, erfolgte im Jahr 2021 durch die neuen Vorschriften zu Beizanlagen (NT699x) die Ausweitung der Windauflage NH681 auf alle (fungiziden) Saatgutbehandlungsmittel in allen Kulturen. Die Anwendungsbestimmung NT699x schreibt darüber hinaus grundsätzlich die Beizung in zertifizierten und beim Julius-Kühn-Institut gelisteten Anlagen vor. Zudem gilt eine Positivliste für Saatgeräte (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2021). Da die Windauflage im Jahr 2021 zunächst außer Kraft gesetzt wurde, teilte das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2022) in einer Fachmeldung vom 16.06.2022 mit, dass die Außerkraftsetzung der Windauflage am 31.05.2022 endet und die Windauflage somit ab dem 01.06.2022 gilt. Der Text der neuen Anwendungsbestimmung NH681-3 lautet: "Auf Packungen mit gebeiztem Saatgut ist folgende Kennzeichnung anzubringen: Keine Ausbringung des behandelten Saatgutes bei vorhergesagtem Wind mit einer stündlichen mittleren Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe höher als 5 m/s. Zur Beurteilung der Windgeschwindigkeit ist die Vorhersage im Internetangebot des Deutschen Wetterdienstes für die nächstgelegene Agrarwetterstation bis zu 72 Stunden vor der Aussaat heranzuziehen." Die Vorhersagen sind auf den Internetseiten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) (2022a) zu finden. Nach dem Hessischen Bauernverband (2022) ist eine Kontrolle über die Einhaltung der Windauflage durch den Pflanzenschutzdienst möglich, wobei Aufzeichnungen der DWD-Vorhersagen durch den Anwender nicht notwendig sind.

Nach Schiefer (2021) erhöhen die neuen Auflagen wie die Auflage NT699, nach welcher bestimmte Beizen nur noch in dafür spezialisierten (zertifizierten) Beizstellen angewendet werden dürfen, und die Auflage NH681 den wirtschaftlichen Druck auf die deutschen Saatguterzeuger, zudem die bundesrepublikanischen Auflagen höher als die anderer Staaten sind, was zu Produktionsverlagerungen ins Ausland führen könnte. Die Windauflage bewertet Schiefer (2021) als überzogen und in vielen Gebieten als nicht realisierbar. Zudem bemängelt er, dass für die Begründung der Windauflage nur wenige belastbare Versuchsergebnisse vorliegen. Auch nach der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (2021) stellt die praktische Durchführung der Windauflage die Landwirte vor erhebliche Probleme, da im Frühjahr und Herbst mit hohen Windgeschwindigkeiten zu rechnen ist. Die Inkraftsetzung der Windauflage erfolgt entgegen fachlichen Argumenten und Zweifeln (Hessischer Bauernverband, 2022). Nach dem

Landesverband Bayerischer Saatgetreideerzeuger-Vereinigungen (2019) bemängelt das Umweltbundesamt, welches maßgeblich für die Windauflage NH681 verantwortlich ist, selbst eine unzureichende Datenlage zur Abdrift von Beizmittelstäuben bei höheren Windgeschwindigkeiten und fordert in einem Akt der Beweislastumkehr die Unterbindung der Aussaat bei Wind bis zur Erbringung eines gesicherten Nachweises, dass bei der Aussaat bei hohen Windgeschwindigkeiten keine für aquatische Lebewesen schädliche Abdrift entsteht. Das Umweltbundesamt bevorzugt nach dem Landesverband Bayerischer Saatgetreideerzeuger-Vereinigungen (2019) eine Regulierung der Saatgutausbringung durch die Beizqualität gegenüber der Windauflage. Dazu soll mit Hilfe von HAS-Werten (Heubach aktive Substanz) der Wirkstoffgehalt im Staub bei der Qualitätsermittlung berücksichtigt werden. Dies hätte zur Folge, dass die entsprechenden Beizen nur noch in speziell zertifizierten Anlagen verarbeitet werden dürften. Zurzeit sind jedoch noch keine HAS-Analytik und keine Messmethoden vorhanden, sodass auf die Regulation durch die Windauflage zurückgegriffen wird.

3 Material, Datengrundlage und Methoden

In diesem Kapitel wird auf die Datengrundlage sowie die verwendeten Methoden und Modelle eingegangen. Dazu erfolgt zunächst die Erläuterung der Klimadaten und deren Aufbereitung sowie die Beschreibung der drei intensiver untersuchten Stationen. Danach werden die Methoden zur Berechnung der Feldarbeitstage (FAT), der FAT in den Aussaatzeiträumen sowie die Berechnung der möglichen Umfänge der Aussaat und der Produktions- und Anbauverfahren erläutert. Anschließend werden die Methoden zur ökonomischen Analyse sowie zur Risikobeurteilung beschrieben. Abschließend werden Hypothesen zu den in den vorangegangenen Kapiteln und in diesem Kapitel gestellten Forschungsfragen abgeleitet und formuliert.

3.1 Klima und Wetterdaten

In folgendem Kapitel werden die verwendeten Klimadaten, die Auswahl der Stationen sowie die Aufbereitung der Klimadaten erläutert.

3.1.1 Datengrundlagen der Wetter- und Klimadaten

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt im Internet Klimadaten seiner Wetterstationen als Rasterdaten sowie als historische und aktuelle Daten öffentlich zur Verfügung (DWD, 2022b). Da die Datensatzbeschreibung der stündlichen Raster der Lufttemperatur für Deutschland in den Hinweisen für Anwender von der Nutzung der Daten für klimatologische Analysen und langzeitliche Trends abrät und die zeitliche Abdeckung nur von 1995-2012 reicht (Krähenmann et al., 2016), finden in dieser Arbeit die historischen Stationsdaten Verwendung.

Die benötigten Daten für Temperatur und Luftfeuchte um 14 Uhr werden aus den historischen stündlichen Stationsmessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte für Deutschland, die tägliche Niederschlagsmenge sowie die tägliche durchschnittliche Windgeschwindigkeit aus den täglichen Stationsbeobachtungen (Temperatur, Druck, Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc.) für Deutschland entnommen.

3.1.2 Aufbereitung der DWD-Daten

Da die Stationsdaten des DWD zum Teil ein erkennbares Maß an Fehlzeiten aufweisen, wird im Folgenden der Umgang mit diesen erläutert. Die Datenaufbereitung erfolgt nur für die in Tabelle 6 aufgeführten Stationen (siehe Kapitel 3.2).

Liegen Fehlzeiten auf Stundenbasis vor, werden diese grundsätzlich gleichmäßig durch zeitlich vorausgehende und nachfolgende Stundendaten ersetzt. Diese Vorgehensweise wird auf maximal 12 fehlende Stundendaten eingeschränkt. Liegen mehr als 12 fehlende Stundendaten vor, so wird der entsprechende Tagesdatensatz an Stundendaten wiederum gleichmäßig durch zeitlich vorausgehende und nachfolgende Tagesdaten auf Stundenbasis ersetzt.

Liegen Fehlzeiten auf Tagesbasis vor, werden diese ebenfalls grundsätzlich gleichmäßig durch zeitlich vorausgehende und nachfolgende Tagesdaten ersetzt. Diese Vorgehensweise wird auf maximal 30 beziehungsweise 31 fehlende Tagesdaten eingeschränkt. Liegen mehr als 30 beziehungsweise 31 fehlende Tagesdaten vor, so wird der entsprechende Monatsdatensatz an Tagesdaten wiederum gleichmäßig durch zeitlich vorausgehende und nachfolgende Monatsdaten auf Tagesbasis ersetzt.

Liegen Fehlzeiten auf Monatsbasis vor, werden diese ebenfalls grundsätzlich gleichmäßig durch zeitlich vorausgehende und nachfolgende Monatsdaten ersetzt. Diese Vorgehensweise wird auf maximal 3 fehlende Monatsdaten eingeschränkt. Liegen mehr als 3 fehlende Monatsdaten vor, so wird der entsprechende Jahresdatensatz gänzlich verworfen.

3.2 Das Untersuchungsgebiet

Für die Beantwortung der Forschungsfrage über die unterschiedlichen Auswirkungen der Windaufgabe (Anwendungsbestimmung NH681) zwischen windreichen und windarmen Standorten wird das Untersuchungsgebiet grundsätzlich auf Norddeutschland und Hessen eingegrenzt. Die Auswahl geeigneter DWD-Stationen für die notwendigen Berechnungen erfolgt vornehmlich über die kombinierte Verfügbarkeit einer adäquaten Datenmenge aus den stündlichen Stationsmessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte und aus den täglichen Stationsbeobachtungen (Temperatur, Niederschlag, Wind, etc.). Für eine umfangreiche Beurteilung werden insgesamt 10 Stationen mit möglichst unterschiedlicher durchschnittlicher Windgeschwindigkeit ausgewählt, die darüber hinaus in möglichst verschiedenen Klimagebieten

nach dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (KTBL, 2018, S. 251) liegen. Tabelle 6 zeigt die 10 ausgewählten Stationen und enthält neben den DWD-Informationen zu den Stationen (Stationsname, Stations-ID, Bundesland und geografische Angaben) auch Angaben zu den Klimazonen (KTBL, 2018, S. 251), in denen die Stationen liegen. Die aus den DWD-Daten berechnete durchschnittliche Windgeschwindigkeit (m/s) gibt einen ersten Überblick über die Windverhältnisse der Stationen. Der Jahresdatensatz gibt die Anzahl an verfügbaren kombinierten Jahresdaten an, die sich aus den stündlichen Stationsmessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte und den aus täglichen Stationsbeobachtungen (Temperatur, Niederschlag, Wind, etc.) ergeben.

Für die 10 Stationen werden jeweils die Feldarbeitstage (FAT) ohne und mit Windauflage sowie die FAT der Saatzeitspannen und die möglichen Aussaatumfänge der verschiedenen Kulturen berechnet. Aufgrund der großen Datenmenge, die sich aus den verschiedenen Stationen sowie der Kombination der verschiedenen Anbauverfahren und der Betriebstypen ergibt, wird bei der integrativen Betrachtung der Aussaat in den Anbauverfahren, der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes zur Aussaat und der Risikoanalyse auf die Auswertung aller Stationen verzichtet und sich auf die drei Stationen Gießen (Hessen, Klimagebiet 7, durchschnittliche Windgeschwindigkeit 2,82 m/s), Teterow (Mecklenburg und Vorpommern, Klimagebiet 12, durchschnittliche Windgeschwindigkeit 4,67 m/s) und Boltenhagen (Mecklenburg und Vorpommern, Klimagebiet 9, durchschnittliche Windgeschwindigkeit 5,61 m/s) beschränkt, sodass nur für diese eine genauere Beschreibung erfolgt. Diese drei Stationen ermöglichen einen umfangreichen Vergleich zwischen nördlichen, küstennahen und mittelhessischen Gegebenheiten. Außerdem bilden sie verschiedene durchschnittliche Windgeschwindigkeiten und verschiedenen Klimagebiete ab.

Auch wenn für die Stationen Boltenhagen, Gießen und Bad Hersfeld Daten von über 30 Jahren verfügbar sind, wird sich in dieser Arbeit grundsätzlich auf die Betrachtung von maximal 30 Jahren beschränkt. Auf Grund mangelnder kombinierter Datenverfügbarkeit werden auch Stationen wie Lüsewitz mit nur neun Jahresdatensätzen betrachtet.

Tabelle 6: Ausgewählte Stationen des Deutschen Wetterdienstes (Quelle: Eigene Berechnung)

Stationsname	Stations_ID	Bundesland	geographische Breite	geographische Länge	Klimagebiet	Durchschnittliche Windgeschwindigkeit (m/s)	Jahresdatensatz (n)
Barth	298	Mecklenburg-Vorpommern	54,3405	12,7108	9	4,05	27
Boltenhagen	596	Mecklenburg-Vorpommern	54,0027	11,1908	9	5,61	30
Geisenheim	1580	Hessen	49,9859	7,9548	8	2,46	28
Gießen (Wettenberg)	1639	Hessen	50,6017	8,6439	7	2,82	30
Lüsewitz	1803	Mecklenburg-Vorpommern	50,0714	12,3238	11	4,07	9
Bad Hersfeld	2171	Hessen	50,8520	9,7377	6	2,58	30
Sank Peter-Ording	4393	Schleswig-Holstein	54,3279	8,6031	9	6,35	18
Teterow	5009	Mecklenburg-Vorpommern	53,7610	12,5574	12	4,67	17
Fehmarn	5516	Schleswig-Holstein	54,5283	11,0606	11	6,16	22
Dörnick	6163	Schleswig-Holstein	54,1654	10,3519	11	3,73	12

3.2.1 Gießen (Wettenberg)

Die Station Gießen (Wettenberg) liegt im Landkreis Gießen im Bundesland Hessen. Die Station liegt zwar in der unmittelbaren Nähe der Lehr- und Forschungsstation des Instituts für Tierzucht und Haustiergenetik Oberer Hardthof (Stadt Gießen), aber schon knapp in der Nachbargemeinde Wettenberg. In der Arbeit wird nur noch von der Station beziehungsweise dem Standort Gießen gesprochen.

Die Station liegt in der Naturraumgruppe Westhessisches Bergland, welches eine walddreiche Mittelgebirgslage umfasst. Im näheren Umkreis der Station treffen sich die zwei Naturräume Gießener Lahntal und Lahn-Dill-Bergland und von nördlicher Richtung kommend fließt die Lahn durch Gießen. Im Gießener Lahntal finden sich vor allem Grundwasser beeinflusste Bodentypen, die in Auenlagen die landschaftsprägenden Feucht- und Nasswiesen beherbergen. Im Lahn-Dill-Bergland dominiert im Westen und Nordosten die Grünlandnutzung, während sich der Ackerbau im Osten konzentriert. In beiden naturräumlichen Einheiten sind Hecken und Verbuschungen ein typisches Landschaftsmerkmal (Bundesamt für Naturschutz, 2021). Mit einer Temperatur von 9,81 °C im Jahresdurchschnitt und jährlichen Niederschlägen von 634,84 mm und einer Höhenlage von 203 m liegt die Station im Klimagebiet 7. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit in diesem trockenen und warmen Klima beträgt 2,82 m/s.

3.2.2 Teterow

Die Station Teterow befindet sich in der Nähe des Teterower Sees in der Naturraumgruppe der Mecklenburgischen Schweiz, im Landkreis Rostock, Mecklenburg-Vorpommern. Auch wenn das Gebiet ein differenziertes Landschaftsrelief aufweist, ist die Landschaft zu großen Teilen von der Landwirtschaft beeinflusst. Dabei stellt die ackerbauliche Nutzung die dominante Landbewirtschaftung dar. Ebenfalls in unmittelbarer Nähe liegt der Naturraum Oberes Peenegebiet (mit Teterower und Malchiner Becken). Die Landschaft ist hier von Kanälen und Entwässerungsgräben durchzogen, welche die großflächige Seen- und Weidelandschaft auffächern. In dem Naturraum überwiegt die Grünlandnutzung mit Wiesen und Weiden, wobei in den Randbereichen auch Ackerbau betrieben wird. Das Teterower und Malchiner Becken wird überwiegend durch Wiesen und Weiden genutzt, in den Randbereichen wird auf den Grundmoränen auch Ackerbau betrieben. Die Seen werden touristisch genutzt (Bundesamt für Naturschutz, 2021). Mit einem Jahresniederschlag von 524,98 mm und einer durchschnittlichen

Temperatur von 8,42 °C liegt die Station in der Klimazone 12. Die Station liegt auf einer Höhe von 38 m und die durchschnittliche Windgeschwindigkeit liegt bei 4,67 m/s.

3.2.3 Boltenhagen

Die Station Boltenhagen befindet sich an der Ostseeküste in der Naturraumgruppe Mecklenburgisch-Vorpommersches Küstengebiet im Norden des Landkreises Nordwestmecklenburg, Mecklenburg-Vorpommern. Das Gebiet stellt eine Übergangszone zwischen Land und Meer dar und wird maßgeblich durch dieses Verhältnis geprägt. Die Landschaft ist abwechslungsreich und ist durch intensiven Ackerbau sowie durch Weiden, Salzweiden und Wälder charakterisiert. Landschaftstypisch sind die Salzwiesenvegetationen in den flachen Bereichen der Böden. Das Klima ist mit abrupten Änderungen der Wärme- und Feuchtecharakteristika von Land und Meer sowie geringen Temperaturschwankungen im Jahresverlauf typisch für Küstengebiete (Bundesamt für Naturschutz, 2021). Die Station liegt in der Klimazone 9 und die Höhe beträgt 15 m. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit liegt bei 5,61 m/s, die Jahresmitteltemperatur beträgt 9,17 °C und der jährliche Niederschlag liegt bei 593,67 mm.

3.3 Ermittlung der verfügbaren Feldarbeitstage (FAT) durch ein Bodenfeuchtemodell

Die Berechnung der Bodenfeuchte der ausgewählten Stationen und deren Klimagebiete erfolgt auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Klimadaten mit dem Bodenfeuchtemodell nach Dyer und Baier (1979) und die Berechnung der FAT mit dem KTBL-Verfahren nach Augter (1990). Zunächst erfolgt die ausführliche Beschreibung des Bodenfeuchtemodells in den Unterkapiteln von Kapitel 3.3 und in Kapitel 3.4 erfolgt die Erläuterung zur Berechnung der FAT.

3.3.1 Bodenfeuchtemodell

Das Bodenfeuchtemodell wird anhand der Gleichungen 2 und 3, die das von Spieß (1999, S. 43 ff.) ins Deutsche übersetzte Bodenfeuchtemodell nach Dyer und Baier (1979) zeigen, berechnet. Im Folgenden werden dazu die einzelnen Teile des Modells vorgestellt.

$$S1_i = S1_{(i-1)} + P_i - PDL_i + PDL_{(i-1)} + Df_{(i-1)} - DRN1_{(i-1)} - ASE_i \quad (2)$$

$$S2_i = S2_{(i-1)} + DRN1_{(i-1)} - DRN2_{(i-1)} - Df_{(i-1)} - AERT_i \quad (3)$$

S1: pflanzenverfügbares Wasser (Bodenfeuchte) in Schicht 1 (0-10 cm)

S2: pflanzenverfügbares Wasser (Bodenfeuchte) in Schicht 2 (10-50 cm)

P: Tagesniederschlagshöhe

PDL: Oberflächenwasser

DF: Wasser, das zwischen den Schichten diffundiert (kapillarer Aufstieg)

DNR1: Wasser, das von Schicht 1 nach Schicht 2 diffundiert (Infiltration)

DNR2: Wasser, das aus Schicht 2 versickert

ASE: aktuelle Verdunstung an der Bodenoberfläche und Transpiration (aktuelle Evapotranspiration)

AERT: Wasser, das dem Boden durch Pflanzen entzogen wird

i: jeweiliger Tag

3.3.2 Diffusion zwischen den Schichten (DF)

Gleichung 4 zeigt die Wassermenge, die von Schicht 1 in Schicht 2 diffundiert. Die Richtung, in die das Wasser diffundiert, ist von der Feldkapazität (FK) sowie dem Wassergehalt der Schichten abhängig.

$$DF_i = (S2_i / FK50 - S1_i / FK10) + DK + FK10 \quad (4)$$

FK10: Feldkapazität der Schicht 1 (mm)

FK50: Feldkapazität der Schicht 2 (mm)

DK: Diffusionskoeffizient

3.3.3 Oberflächenwasser (PDL)

Gleichung 5 zeigt das Oberflächenwasser des Tages i, das sich aus der Differenz der Tagesniederschlagshöhe und des Wassers, welches in Schicht 1 diffundiert, bildet. Bei Erreichen der Wassersättigung von Schicht 1 ist keine weitere Aufnahme von Wasser mehr möglich, sodass es als Oberflächenwasser abfließt. Tritt Oberflächenwasser auf, wird dieses von der aktuellen Bodenfeuchte abgezogen und erst am nächsten Tag hinzuaddiert. Die verzögerte Aufnahme der Niederschläge führt zu einer wirklichkeitsnahen Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Bodenfeuchte. Bei Auftreten von Oberflächenwasser sind keine Feldarbeiten möglich.

$$PDL_i = P_i(SW1 - S1_i) \quad (5)$$

Wenn $(SW1 - S1_i) < P_i$, sonst $PDL_i = 0$

P: Tagesniederschlagshöhe (mm)

SW1: Sättigungswassermenge der Schicht 1 (mm)

3.3.4 Versickerung aus der Schicht 1 (DRN1)

Gleichung 6 zeigt die Versickerung von Wasser der Schicht 1, die so lange anhält, bis der Bodenfeuchtegehalt der Feldkapazität entspricht.

$$DNR1_i = (S1_i - FK10) * VK \quad (6)$$

Wenn $S1_i > FK10$, sonst $DR1_i = 0$

FK10: Feldkapazität der Schicht 1 (mm)

VK: Versickerungskoeffizient

3.3.5 Evapotranspiration (ASE)

Die Evapotranspiration ist die Summe aus Evaporation und Transpiration. Die Transpiration sind alle Verdunstungen des Vegetationsbestandes aus den Blattstomata und der äußeren Pflanzenschicht an die Atmosphäre, während die Evaporation alle nicht stomatäre Verdunstungen der Bodenoberfläche sowie unmittelbare Verdunstung an den Blattoberflächen eines Vegetationsbestandes (Niederschlagsinterzeption) einbezieht. Die potenzielle Evapotranspiration gibt das klimatisch mögliche Verdunstungsmaximum eines Vegetationsbestandes bei optimaler Wasserversorgung an. Je höher (niedriger) der Grad der Vegetation ist, desto höher (niedriger) ist der Anteil der Transpiration (Evaporation) an der Evapotranspiration aus der ersten Schicht. Die aktuelle, auch reale Evapotranspiration ist kleiner/gleich der potenziellen Evapotranspiration und hängt von der Wasserversorgung des Bodens (Feldkapazität) und damit des Vegetationsbestandes ab (Hofmann und Frühauf, 2017, S. 25 ff. und S. 45 ff.). Gleichung 7 zeigt die Evapotranspiration und berücksichtigt hierbei die potenzielle Evapotranspiration, die Bodenfeuchte der Schicht 1 und das Abtrochnungsverhalten des Bodens.

$$ASE_i = (Ep_i * AF * S1_i / FK1) - AERT_i \quad (7)$$

EP: potenzielle Evapotranspiration (mm/d)

AF: Abtrocknungsfaktor

FK1: Feldkapazität der Schicht 1 (mm)

3.3.6 Potenzielle Evapotranspiration und Haundefaktor

Gleichung 8 zeigt die Berechnung der potenziellen Evapotranspiration nach Haude (1955), die sich aus dem Haundefaktor und dem Sättigungsdefizit zusammensetzt. Tabelle 7 zeigt die Werte für den Haundefaktor nach dem Verein Deutscher Ingenieure (1993).

$$Ep_i = HF * E_i \quad (8)$$

HF: Haundefaktor (kultur- und zeitspezifisch) (mm * d⁻¹/hPa)

E: Sättigungsdefizit (hPa)

Tabelle 7: Monatliche Haundefaktoren der potenziellen Evapotranspiration (Quelle: Eigene Darstellung nach Verein Deutscher Ingenieure, 1993)

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
0,20	0,20	0,25	0,29	0,39	0,28
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
0,26	0,25	0,23	0,22	0,20	0,20

3.3.7 Sättigungsdefizit

Gleichung 9 zeigt die Berechnung des Sättigungsdefizits über die Magnus-Formel nach Spieß (1990, S. 45), welches von der relativen Luftfeuchte und der Temperatur um 14:30 Uhr abhängig ist.

$$E_i = (1 - RH / 100) * k_1 * EXP(k_2 * T / (k_3 + T)) \quad (9)$$

RH: relative Luftfeuchte (um 14:30 Uhr)

T: Temperatur in 2 m Höhe (um 14:30 Uhr)

k1: 6,11 (hPa)

k2: 17,081

k3: 234,18 (°C)

3.3.8 Versickerung aus Schicht 2 (DRN2)

Die Versickerung aus Schicht 2, welche in Gleichung 10 dargestellt ist, kommt der Versickerung aus Schicht 1 des Vortages gleich. Damit eine Versickerung aus Schicht 2 stattfindet, muss die Bodenfeuchte in Schicht 2 größer als die Feldkapazität der Schicht 2 sein und die vortägliche Versickerung aus Schicht 1 muss kleiner oder gleich der Bodenfeuchte in Schicht 2 und der Feldkapazität der Schicht 2 sein.

$$\text{DNR2}_i = \text{DNR1}_{(i-1)} \quad (10)$$

Wenn $S2_i > FK50$ und $\text{DNR2}_i \leq S2_i - FK50$, sonst $\text{DNR2}_i = 0$

3.3.9 Transpiration der Schicht 2 (AERT)

Gleichung 11 zeigt die Transpiration von Wasser der Schicht 2, welches die Pflanzen über ihre Wurzeln aufnehmen und oberirdisch verdunsten. Die Gleichung setzt sich aus der aktuellen Bodenfeuchte, der potenziellen Evapotranspiration, der Feldkapazität, dem Abtrocknungsfaktor und dem Pflanzenkoeffizienten (PK) zusammen. Es wird dabei angenommen, dass ab einer Temperatur von unter 5 °C keine Transpiration mehr stattfindet.

$$\text{AERT}_i = \text{PK} * \text{AF} * \text{EP}_i * S2_i / FK50 \quad (11)$$

Wenn $T_i > 5 \text{ °C}$, sonst $\text{AERT}_i = 0$

PK: Pflanzenkoeffizient

AF: Abtrocknungsfaktor

Ep: potenzielle Evapotranspiration (mm/d)

FK50: Feldkapazität der Schicht 2 (mm)

3.3.10 Angenäherte Bodenfeuchte

Nach dem Bodenfeuchtemodell nach Dyer und Baier (1979) sind in den Gleichungen zur Berechnung der Evapotranspiration, des Oberflächenwassers, der Versickerung aus Schicht 2

und der Transpiration durch Rekursion gewonnene Hilfsgrößen notwendig, um die Bodenfeuchte zu berechnen. Zur Vereinfachung wird hier stattdessen nach Spieß (1999, S. 47) eine angenäherte Bodenfeuchte für Schicht 1 und Schicht 2 als Hilfsgröße verwendet, die in Gleichung 12 und 13 abgebildet sind.

$$pS1 = S1_{(i-1)} + P_i - DRN1_{(i-1)} + Df_{(i-1)} \quad (12)$$

$$pS2 = S2_{(i-1)} + DRN1_{(i-1)} - Df_{(i-1)} \quad (13)$$

$pS1$ = angenähertes pflanzenverfügbares Wasser (angenäherte Bodenfeuchte) in Schicht 1 (0-10 cm)

$pS2$ = angenähertes pflanzenverfügbares Wasser (angenäherte Bodenfeuchte) in Schicht 2 (10-50 cm)

3.3.11 Praktische Bodenfeuchte

Die Gleichungen 14 und 15 zeigen, wie die Bodenfeuchte im Modell praktisch berechnet wird. Die Bodenfeuchte aus Schicht 1 ergibt sich aus der angenäherten Bodenfeuchte der Schicht 1 abzüglich des Oberflächenwassers des Vortages und der aktuellen Evapotranspiration. Die Bodenfeuchte aus Schicht 2 ergibt sich aus der angenäherten Bodenfeuchte der Schicht 2 abzüglich der Versickerung aus der Schicht 2 des Vortages und der Transpiration der Schicht 2.

$$S1_i = pS1_i - PDL_i + PDL_{(i-1)} - ASE_i \quad (14)$$

$$S2_i = pS2_i - DRN2_{(i-1)} - AERT_i \quad (15)$$

3.3.12 Faktor- und Initialwerte sowie benötigte Klimawerte

Tabelle 8 zeigt die Werte der verwendeten bodenabhängigen Größen und Koeffizienten für leichte, mittlere und schwere Böden.

Tabelle 8: Faktoren des Bodenfeuchtemodells (Quelle: Eigene Darstellung nach Dyer und Baier, 1979)

Boden	FK10 (mm)	FK50 (mm)	SW1 (mm)	SW2 (mm)	VK	AF	DK	PK
leicht	15,00	80,00	45,00	205,00	0,95	1,67	0,20	0,10
mittel	25,00	125,00	45,00	205,00	0,80	1,43	0,20	0,10
schwer	25,00	125,00	40,00	185,00	0,70	1,25	0,20	0,10

Initial wird für den ersten Tag der Berechnung für die Bodenfeuchte der Schicht 1 und 2 jeweils die Feldkapazität der Schicht 1 und 2 angenommen. In der vorliegenden Arbeit wird die Bodenfeuchte für jedes Jahr einzeln berechnet, sodass der Initialtag immer der erste Januar eines Jahres ist. Während das KTBL die Feldarbeitstage (FAT) nach Augter (1990) nur für den Zeitraum von März bis November berechnet, erfolgt in dieser Arbeit die Berechnung der Bodenfeuchte und der FAT für das gesamte Jahr, da einzelne Arbeitsgänge der KTBL-Produktionsverfahren in den Februar fallen. Um die in dieser Arbeit berechneten FAT möglichst mit den KTBL-Daten verifizieren zu können, wird zusätzlich zum ersten Januar eines jeden Jahres der 14. Februar als zusätzlicher Initialtag gewählt.

Zur Berechnung der Bodenfeuchte nach Dyer und Baier (1979) werden folgende Klimadaten herangezogen:

- Tagesniederschlagshöhe (mm)
- Relative Luftfeuchte um 14:00 Uhr (%)
- Lufttemperatur um 14:00 Uhr (°C)

3.4 Berechnung der Feldarbeitstage (FAT)

Die Berechnung der FAT wird mit Daten der ausgewählten Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für die ausgewählten Jahre durchgeführt. Dabei erfolgt die Berechnung der FAT grundsätzlich nach den in Kapitel 2.2.3 beschriebenen Schritten nach Augter (1990), wobei der fünfte Schritt in dieser Arbeit überflüssig ist, da keine FAT für Klimaregionen, sondern für einzelne Stationen berechnet werden. Die FAT werden für leichte Böden und die Anspruchsstufen (AS) 2 und 3 berechnet. Ein Tag wird als FAT gewertet, wenn die Bodenfeuchte der Schicht 1 kleiner als die in Tabelle 4 angegebenen Obergrenzen der Bodenfeuchte in Schicht 1

für die Ausführung von Feldarbeiten ist. Bei Auftreten von Oberflächenwasser wird ein Tag nicht als FAT bewertet. Um zu berücksichtigen, dass Feldarbeiten vor allem im Frühjahr durch Bodenfrost und Schneebedeckung verhindert werden, werden nach Augter (1990) Tage, bei denen die Temperatur um 14:00 Uhr eines Tages unterhalb von -2°C liegen, ebenfalls nicht als FAT bewertet. Das Inkrafttreten der Windauflage (Anwendungsbestimmung NH681) wird durch eine zusätzliche Restriktion verschärft, nach der Tage, an denen die durchschnittliche Windgeschwindigkeit über 5 m/s liegt, keine zur Aussaat geeigneten FAT sind. Grundsätzlich werden also die FAT einmal ohne und einmal mit Windauflage berechnet. Auf die Berechnung verfügbarer Mähdruschstunden wird verzichtet und stattdessen auf die Daten von KTBL (2018, S. 253-255) zurückgegriffen.

Ein Quantil teilt die Menge der FAT in zwei Teile: Ein Anteil ist kleiner als das Quantil, während der andere Anteil größer ist (dieser größere Anteil wird als Komplement des Quantils bezeichnet). Für die vorliegende Arbeit ist besonders der Teil wichtig, der größer als das Quantil ist – also das Komplement des Quantils. Alle Ergebnisse und Berechnungen beziehen sich daher ausschließlich auf diesen Bereich. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit entscheidend ist, mit der die FAT mindestens zur Verfügung stehen. FAT sind Zufallsgrößen, allgemein als X bezeichnet. Dabei sind bestimmte Schwellen (Quantile) interessant, die mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten über- oder unterschritten werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Schwelle nicht überschritten wird, wird mit p bezeichnet, so dass Gleichung 16 gilt.

$$p = P(X < Q) \quad (16)$$

Q = Quantil

p ; P = Wahrscheinlichkeit

X = Zufallsgrößen von FAT

Die Gegenwahrscheinlichkeit (Kompliment), mit der die Schwelle überschritten wird, zeigt Gleichung 17.

$$1-p = P(X > Q) \quad (17)$$

Q = Quantil
p; P = Wahrscheinlichkeit
X = Zufallsgrößen von FAT

Damit gilt auch Gleichung 18, welche zeigt, dass $Q(r)$ ein Quantilswert der Zufallsgröße X ist.

$$Q(r) = Q(1-p) \quad (18)$$

Q = Quantil
p = Wahrscheinlichkeit
 $Q(r)$ = Quantilswert der Zufallsgröße X (Zufallsgröße von FAT)

Da sich KTBL (2018, S. 253) auf die FAT, die mit 80 % Wahrscheinlichkeit mindestens zur Verfügung stehen, beschränkt, wird in dieser Arbeit, mit Ausnahme der Risikoanalyse, ausschließlich mit dem entsprechenden 20 %-Wahrscheinlichkeitsquantil gearbeitet. Im Folgenden wird Quantil synonym für Wahrscheinlichkeitsquantil verwendet.

3.5 Berechnung der Feldarbeitstage (FAT) in den Saatzeitspannen der Anbauverfahren

Analog der Berechnung der FAT in Kapitel 3.4 erfolgt die Berechnung der FAT für die Saatzeitspannen der verschiedenen Produktions- und Anbauverfahren ohne und mit Windauflage, die in den folgenden Unterkapiteln definiert werden. Darüber hinaus dient die Unterteilung der Aussaat in verschiedene Saatzeitspannen der Berechnung von Ertragsverlusten in Kapitel 3.12.2. Da für die Risikoanalyse in Kapitel 3.14 nicht nur die FAT, die mit 80 % Wahrscheinlichkeit mindestens zur Verfügung stehen, benötigt werden, werden durch die entsprechenden Quantile zusätzlich die FAT der Saatzeitspannen berechnet, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 0 % bis 100 % (gestuft in 5 %-Schritten) mindestens zur Verfügung stehen.

3.5.1 Winterweizen

Unter Berücksichtigung der Anbaurisiken bei zu früher oder zu später Saat und bei der großen Standortabhängigkeit der Saatzeitspannen erfolgt die Einteilung getrennt nach hessischen und norddeutschen Stationen (siehe Tabelle 9). Da der Stand des Wissens für den Winterweizen am ausgeprägtesten ist, erfolgt hier im Gegensatz zu den anderen Produktionsverfahren eine Unterscheidung zwischen nördlichen und hessischen Stationen. Die Saatzeitspanne wird sowohl für die nördlichen als auch die hessischen Stationen in sehr früh, früh, normal und sehr spät unterteilt. Die Einteilung erfolgt für Hessen in Anlehnung an das Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion (2020a, S. 1) und für Norddeutschland in Anlehnung an die Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2020) und die Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (2011).

Tabelle 9: Standortabhängige Saatzeitspannen für Winterweizen (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an das Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion, 2020a, S. 1, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 2020 und Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, 2011)

	sehr früh	früh	optimal	sehr spät
Norddeutschland	09.09.-19.09.	20.09.-30.09.	01.10.-19.10.	20.10.-31.10.
Hessen	01.09.-09.09.	10.09.-24.09.	25.09.-14.10.	15.10.-25.10.

3.5.2 Sommergerste

Da für die Aussaat von Sommergerste ein möglichst früher Aussaatetermin mit guten Aussaatbedingungen ab Ende Februar angestrebt wird, erfolgt die Einteilung der Saatzeitspanne für die Sommergerste in Anlehnung an die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2001, S. 135), Tschischej (2017) und Agrarheute (2015) standortunabhängig und wird in früh, optimal und spät unterschieden (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Standortunabhängige Saatzeitspannen für Sommergerste (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2001, S. 135, Tschischej, 2017 und Agrarheute, 2015)

früh	optimal	spät
24.02.-28.02.	01.03.-31.03.	01.04.-07.04.

3.5.3 Mais

Tabelle 11 zeigt die standortunabhängig gewählten Saatzeitspannen für Mais in Anlehnung an das Deutsche Maiskomitee (2020) und die Saaten-Union (2021), welche zwischen früher, normaler und später Aussaat unterscheiden.

Tabelle 11: Standortunabhängige Saatzeitspannen für Mais (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Deutsches Maiskomitee, 2020 und Saaten-Union, 2021)

früh	optimal	spät
01.04.-15.04.	16.04.-30.04.	01.05.-15.05.

3.5.4 Zuckerrübe

Auch für die Zuckerrübe wird in Tabelle 12 in Anlehnung an das Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion (2020b) eine standortunabhängige, aber zeitlich umfangreiche Saatzeitspanne mit früher, optimaler, später und sehr später Aussaat gewählt.

Tabelle 12: Standortunabhängige Saatzeitspannen für Zuckerrüben (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion, 2020b)

früh	optimal	spät	sehr spät
15.03.-25.03.	26.03.-10.04.	11.04.-25.04.	26.04.-30.04.

3.6 Arbeitswirtschaftliche Annahmen

Die Datengrundlage zu den Produktions- und Anbauverfahren und den dazugehörigen Arbeitsgängen nach KTBL (2018) bildet die KTBL-Datensammlung "Betriebsplanung Landwirtschaft",

sowie die KTBL-Web-Anwendungen "Verfahrensrechner Pflanze" und "Feldarbeitsrechner" (KTBL, 2020b). Während bei der KTBL-Datensammlung "Betriebsplanung Landwirtschaft" (KTBL, 2018) die Anbauverfahren nur für vorgegebene Mechanisierungsvarianten, Bodenbearbeitungswiderstände, Schlaggrößen und Feld-Hof-Entfernungen enthalten sind, sind bei der KTBL-Web-Anwendung "Verfahrensrechner Pflanze" (KTBL, 2020b) verschiedene Kombinationen der Mechanisierungsvariante, des Bodenbearbeitungswiderstandes, der Schlaggrößen und der Feld-Hof-Entfernungen abrufbar. Neben der Festlegung des Ertragsniveaus in niedrig, mittel und hoch ist auch die Auswahl zwischen leichten, mittleren und schweren Böden möglich. Durch die Web-Anwendung lassen sich Unterschiede zwischen größeren und kleineren landwirtschaftlichen Betrieben nicht direkt, aber indirekt durch die Auswahl verschiedener Schlaggrößen und Mechanisierungsstufen abbilden. Da von einer Windauflage hauptsächlich konventionell wirtschaftende Betriebe betroffen sind, werden ökologische Anbauverfahren nicht berücksichtigt. Aufgrund der großen Datenmengen und des geringen Vorkommens an Feldarbeitstagen (FAT) im Frühjahr wird sich in dieser Arbeit auf die Untersuchung leichter Böden beschränkt.

3.6.1 Betriebstypen und Mechanisierung

Um die Unterschiede der Windauflage für verschiedene Betriebstypen zu erforschen, wird für alle Anbaukulturen und Anbauverfahren jeweils die Schlaggröße von 2 ha mit einer 67 kW Mechanisierung sowie die Schlaggröße von 10 ha mit einer 120 kW Mechanisierung kombiniert. Somit ist ein Vergleich von kleinen Schlägen mit niedriger Mechanisierung (folgend kleine Betriebe) mit großen Schlägen mit hoher Mechanisierung (folgend große Betriebe) möglich. Für die Schlagentfernung zum Hof wird für alle Kulturen und Anbauverfahren 2 km gewählt. Da die Auswahl des Ertragsniveaus und des Bodens hinsichtlich des Arbeitsganges der Aussaat zu keinem nennenswerten Unterschied beim Arbeitszeitbedarf führt, wird immer ein leichter Boden mit mittlerem Ertrag ausgewählt. Für die Anbauverfahren mit Direktsaat (im Folgenden auch direktes Anbauverfahren) sind in der Web-Anwendung bei der Einstellung der Schlaggröße auf 2 ha keine Daten zum Arbeitszeitbedarf der Aussaat verfügbar, da diese bei 2 ha Schlägen als Dienstleistung (Lohnarbeit) ausgeführt wird. In diesen Fällen werden die Daten durch die KTBL-Web-Anwendung "Feldarbeitsrechner" (KTBL, 2020b) abgerufen. Es wird

sich hierbei an den zuvor erläuterten Einstellungen des "Verfahrensrechner Pflanze" orientiert. Eine ausführliche Darstellung der Anbauverfahren kann über die Web-Anwendungen aufgerufen werden (KTBL, 2020b).

3.6.2 Arbeitswirtschaftliche Annahmen

Selbständige Landwirte können grundsätzlich frei über ihren Arbeitszeiteinsatz und ihre Arbeitszeiten entscheiden. Arbeitszeiteinsatz und Arbeitszeit von Arbeitnehmern unterliegen hingegen staatlichen Zwängen. Das Bürgerliche Gesetzbuch (2017, § 617 und § 618) begründet eine Fürsorgepflicht des Arbeitsgebers gegenüber dem Arbeitnehmer. Hierzu zählt die Pflicht zur Einhaltung von gesetzlichen Schutzvorschriften. Diese werden im Arbeitszeitgesetz (2021, § 7) genauer definiert. Demnach gilt für einen volljährigen Arbeitnehmer grundsätzlich eine maximale Arbeitszeit von acht Stunden pro Tag, wobei diese auf bis zu zehn Stunden verlängert werden kann, wenn innerhalb von sechs Kalendermonaten oder innerhalb von 24 Wochen im Durchschnitt acht Stunden werktäglich nicht überschritten werden. Daraus ergibt sich eine wöchentliche Höchstarbeitszeit von 48 Stunden, und in Ausnahmefällen von 60 Stunden. Werktage sind alle Tage von Montag bis Samstag. Sonn- und Feiertage gelten nicht als Werktage.

In der vorliegenden Arbeit wird simplifiziert mit einer Arbeitskraft kalkuliert, welche acht Stunden pro Arbeitstag beziehungsweise pro FAT und sieben Tage die Woche arbeiten kann, sodass sich eine wöchentliche Arbeitszeit von 56 Stunden ergibt. Die angenommene Arbeitsbelastung liegt also zwischen der gesetzlich festgelegten Höchstarbeitszeit und deren Ausnahmefall und damit im Rahmen der arbeitswirtschaftlichen Wirklichkeit landwirtschaftlicher Betriebe. Die getroffenen Annahmen müssen im Zusammenhang mit der grundsätzlichen Betrachtung und Berechnung von halbmonatlichen Zeitspannen bei den KTBL-Anbauverfahren und dem Auftreten von Arbeitsspitzen und Arbeitstälern konzeptualisiert betrachtet werden: Durch die Limitation an verfügbaren FAT, erübrigt sich in den meisten Zeitspannen die Notwendigkeit der Beachtung von Arbeitszeitregelungen, die ohnehin nur für Angestellte gelten.

Da bei Erntearbeiten oft Arbeitsspitzen entstehen, wird für die Arbeitsgänge zur Ernte grundsätzlich mit 10 Arbeitsstunden pro Tag kalkuliert. Ebenfalls wird angenommen, dass für die Erntearbeiten eine zweite Arbeitskraft zur Verfügung steht, sodass bei Winterweizen und

Sommergerste der Mähdrusch sowie Korntransport, Lagern und Trocknen separat erledigt werden. Für die Maisernte wird ebenfalls mit zwei Arbeitskräften kalkuliert, sodass die Arbeitsgänge Häckseln, Transport und Festfahren sowie Silo reinigen und mit Folie verschließen parallel durchgeführt werden können.

Die einschränkende Annahme einer Arbeitskraft gilt allerdings nicht für die Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes zur Aussaat ohne und mit Windauflage in Kapitel 3.12. Hier wird stattdessen eine unbegrenzte Anzahl an Arbeitskräften unterstellt.

3.7 Isolierte Betrachtung der Aussaat

Während die Feldarbeitstage (FAT) und die Ausführungstermine nach KTBL (2018, S. 252 ff. und 2020b) in halbmonatlichen Zeitspannen angegeben werden, wurden die Saatzeitspannen der Anbaukulturen in davon abweichenden Zeitspannen definiert (siehe Kapitel 3.5). Die Berechnung der maximal möglichen Umfänge des Arbeitsgangs der Aussaat erfolgt daher an dieser Stelle mithilfe der Saatzeitspannen, die in Kapitel 3.5 festgelegt wurden. Der Arbeitsgang der Aussaat wird hier also zunächst isoliert von allen anderen Arbeitsgängen, also auch von solchen, die im gleichen Zeitraum ausgeführt werden, betrachtet. Ein Beispiel hierfür ist die Unkrautbonitur und eine Pflanzenschutzmaßnahme, die beim Winterweizen wie die Aussaat in der zweiten Oktoberhälfte durchgeführt werden. Der maximale Umfang (ha), der für den Arbeitsgang der Aussaat eines Anbauverfahrens einer Kultur möglich ist, liefert Daten, die vor allem für die überbetriebliche Planung und Lohnarbeiten von Interesse sind, da hier ausschließlich die Aussaat und keine weiteren Arbeitsgänge betrachtet werden. Die Einordnung des Arbeitsgangs der Aussaat als ein Arbeitsgang von vielen Arbeitsgängen eines Anbauverfahrens erfolgt durch die integrative Betrachtung der Aussaat in Kapitel 3.8.

Um die maximal möglichen Umfänge (ha) für den Arbeitsgang der Aussaat (isoliert vom Anbauverfahren) für die beiden Betriebstypen (klein und groß) sowie die verschiedenen Anbauverfahren zu ermitteln, werden die verfügbaren FAT der Anspruchsstufe 2 (AS 2) ohne und mit Windauflage der jeweiligen Aussaatzeitspannen durch den Arbeitszeitbedarf der beiden Betriebstypen für die jeweiligen Anbau- und Produktionsverfahren dividiert.

Im Folgenden wird der Arbeitszeitbedarf des Arbeitsgangs der Aussaat für die verschiedenen Anbauverfahren dargestellt. Am Ende erfolgt eine Einordnung des Arbeitszeitbedarfs durch

einen Vergleich der verschiedenen Anbauverfahren und Kulturen. Ein zusammenfassender Überblick hierzu ist in Tabelle 108 des Anhangs zu finden.

3.7.1 Winterweizen

Tabelle 13 zeigt die drei Anbauverfahren Direktsaat, Nichtwendend und Wendend für den Winterweizen. Für den kleinen Betrieb stellt das Anbauverfahren Direktsaat den geringsten und das Anbauverfahren Nichtwendend den höchsten Anspruch an die Arbeitszeit. Beim großen Betrieb stellt das nichtwendende Anbauverfahren ebenfalls die höchsten Ansprüche an die Arbeitszeit. Das wendende Anbauverfahren ist in diesem Fall jedoch der Direktsaat in Bezug auf den Arbeitszeitbedarf überlegen.

Tabelle 13: Anbauverfahren für Winterweizen und deren Arbeitszeitbedarf für den Arbeitsgang Aussaat (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)

Anbauverfahren	Arbeitsvorgang	Arbeitszeitbedarf (h/ha)
Winterweizen - Backweizen, Direktsaat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (kleiner Betrieb)	Säen mit Direktsaatmaschine	0,70
Winterweizen - Backweizen, nichtwendend, Kreiseleggensaat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (kleiner Betrieb)	Säen mit Kreiselegge und Sämaschine	1,24
Winterweizen - Backweizen, wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (kleiner Betrieb)	Säen mit Sämaschine	0,81
Winterweizen - Backweizen, Direktsaat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (großer Betrieb)	Säen mit Direktsaatmaschine	0,40
Winterweizen - Backweizen, nichtwendend, Kreiseleggensaat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (großer Betrieb)	Säen mit Kreiselegge und Sämaschine	0,64
Winterweizen - Backweizen, wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (großer Betrieb)	Säen mit Sämaschine	0,36

3.7.2 Sommergerste

Tabelle 14 zeigt die drei Anbauverfahren Direktsaat, Nichtwendend und Wendend für die Sommergerste. Die Daten zum Arbeitszeitbedarf der Anbauverfahren gleichen mit einer mini-

malen Abweichung beim Säen mit Kreiselegge und Sämaschine des nichtwendenden Anbauverfahrens für den kleinen Betrieb denen des Winterweizens. Die Verhältnisse der Anbauverfahren in Bezug auf den Arbeitszeitbedarf der Aussaat untereinander entsprechen bei der Sommergerste denen des Winterweizens.

Tabelle 14: Anbauverfahren für Sommergerste und deren Arbeitszeitbedarf für den Arbeitsgang Aussaat (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)

Anbauverfahren	Arbeitsvorgang	Arbeitszeitbedarf (h/ha)
Sommergerste - Braugerste, Direktsaat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (kleiner Betrieb)	Säen mit Direktsaatmaschine	0,70
Sommergerste - Braugerste, nichtwendend, Kreiseleggensaat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (kleiner Betrieb)	Säen mit Kreiselegge und Sämaschine	1,22
Sommergerste - Braugerste, wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (kleiner Betrieb)	Säen mit Sämaschine	0,81
Sommergerste - Braugerste, Direktsaat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (großer Betrieb)	Säen mit Direktsaatmaschine	0,40
Sommergerste - Braugerste, nichtwendend, Kreiseleggensaat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (großer Betrieb)	Säen mit Kreiselegge und Sämaschine	0,64
Sommergerste - Braugerste, wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (großer Betrieb)	Säen mit Sämaschine	0,36

3.7.4 Silomaisanbau

Für den Silomaisanbau stehen nach Tabelle 15 nur das nichtwendende und das wendende Anbauverfahren zur Verfügung. Bei beiden Anbauverfahren erfolgt die Aussaat über den Arbeitsvorgang Einzelkornsaat, sodass kein Unterschied beim Arbeitszeitbedarf zwischen den Anbauverfahren, sondern lediglich zwischen den beiden Betriebstypen vorliegt. Für den großen Betrieb ist hier die Einzelkornsaat den Anbauverfahren des Winterweizens und der Sommergerste in Bezug auf die Arbeitseffizienz bei der Aussaat überlegen. Für kleine Betriebe liegt hingegen nur ein Vorteil gegenüber den vorhergenannten nichtwendenden Anbauverfahren beziehungsweise ein äußerst geringer Vorteil gegenüber dem wendenden Anbauverfahren bei Winterweizen und Sommergerste vor.

Tabelle 15: Anbauverfahren für Silomais und deren Arbeitszeitbedarf für den Arbeitsgang Aussaat (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)

Anbauverfahren	Arbeitsvorgang	Arbeitszeitbedarf (h/ha)
Mais - Silomais, nichtwendend, Kreiselegen, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (kleiner Betrieb)	Einzelkornsaat	0,98
Mais - Silomais, wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (kleiner Betrieb)	Einzelkornsaat	0,98
Mais - Silomais, nichtwendend, Kreiselegen, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (großer Betrieb)	Einzelkornsaat	0,31
Mais - Silomais, wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (großer Betrieb)	Einzelkornsaat	0,31

3.7.5 Zuckerrüben

Wie beim Silomaisanbau steht auch bei der Zuckerrübe (siehe Tabelle 16) keine Direktsaat als Anbauverfahren zur Verfügung. Wie auch beim Silomaisanbau erfolgt hier die Aussaat ausschließlich über den Arbeitsvorgang Einzelkornsaat, sodass kein Unterschied beim Arbeitszeitbedarf zwischen den Anbauverfahren, sondern lediglich zwischen den beiden Betriebstypen vorliegt. Im Vergleich mit dem Silomais haben die Anbauverfahren der Zuckerrübe einen höheren Anspruch an die Arbeitszeit.

Tabelle 16: Anbauverfahren für Zuckerrüben und deren Arbeitszeitbedarf für den Arbeitsgang Aussaat (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)

Anbauverfahren	Arbeitsvorgang	Arbeitszeitbedarf (h/ha)
Zuckerrüben, nichtwendend, Kreiselegen, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (kleiner Betrieb)	Einzelkornsaat	0,98
Zuckerrüben, wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (kleiner Betrieb)	Einzelkornsaat	0,98
Zuckerrüben, nichtwendend, Kreiselegen, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (großer Betrieb)	Einzelkornsaat	0,31
Zuckerrüben, wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km (großer Betrieb)	Einzelkornsaat	0,31

3.7.6 Vergleich des Arbeitsgangs der Aussaat der verschiedenen Anbau- und Produktionsverfahren

An dieser Stelle erfolgt die Einordnung der verschiedenen Arbeitszeitanprüche der Anbauverfahren der Kulturen. Über alle Kulturen und Anbauverfahren hinweg zeigt sich ein deutlicher Vorteil der großen gegenüber den kleinen Betrieben. Am stärksten wirken sich die Größen- und Mechanisierungseffekte bei der Direktsaat aus. Bei der Aussaat eines großen Schlags mit hoher Mechanisierung gegenüber einem kleinen Schlag mit geringer Mechanisierung reduziert sich der Arbeitszeitbedarf (h/ha) über alle Kulturen und Anbauverfahren hinweg um durchschnittlich 43,80 %.

Über alle Kulturen und Anbauverfahren hinweg beträgt der Arbeitszeitbedarf (h/ha) bei der Aussaat eines kleinen Betriebes 240,92 % eines großen Betriebes. Die größten Steigerungen beim Arbeitszeitbedarf (h/ha) treten hierbei mit 316,13 % bei der Zuckerrübe und mit 296,30 % beim Silomais auf. Beim Winterweizen und der Sommergerste steigt der Arbeitszeitbedarf (h/ha) bei der Aussaat durch einen kleinen Betrieb im Vergleich zu einem großen Betrieb durchschnittlich um 177,97 % bei der Direktsaat, um 190,53 % bei den nichtwendenden Anbauverfahren und um 224,30 % bei den wendenden Anbauverfahren.

Bei den vorgestellten Daten der KTBL-Anbauverfahren ist zu beachten, dass die nichtwendenden Anbauverfahren bei der Aussaat einen höheren Anspruch an den Arbeitszeitbedarf (h/ha) haben, da hier im Gegensatz zu den wendenden Anbauverfahren, wo der Arbeitsvorgang der Aussaat nur aus dem Säen mit der Sämaschine besteht, die Aussaat durch das Säen mit der Sämaschine zuzüglich Egge oder Kreiselegge erfolgt. Betrachtet man den Arbeitszeitbedarf (h/ha) der gesamten Anbauverfahren, benötigen die nichtwendenden Anbauverfahren einen insgesamt leicht geringeren Arbeitszeitbedarf (h/ha) als die wendenden Anbauverfahren. Den geringsten Anspruch an die Gesamtarbeitszeit (h/ha) stellen die direkten Anbauverfahren (Direktsaat) (KTBL, 2020b) (siehe auch Tabelle 108 im Anhang).

Eine ausschließliche Betrachtung der Aussaat im Kontext der Saatzeitspannen lässt somit keine Beurteilung der Vorteilhaftigkeit der Anbauverfahren in Bezug auf den gesamten Arbeitszeitbedarf zu. Hierzu erfolgt in den anschließenden Kapiteln die integrative Betrachtung der Aussaat und die detaillierte Betrachtung der Anbauverfahren mit allen Arbeitsgängen.

3.8 Integrative Betrachtung der Aussaat und Berücksichtigung aller Arbeitsgänge

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebene Methode betrachtet den Arbeitsgang der Aussaat isoliert vom Gesamtanbauverfahren einer Anbaukultur. Hierdurch wird eine Abschätzung über die Schlagkraft von kleinen und großen Betrieben während der Aussaat der jeweiligen Anbauverfahren möglich. Diese Daten können als Planungsgrundlage für den überbetrieblichen Einsatz und Lohnarbeiten dienen. Aber eine Einschätzung über eine Restriktion durch die Windauflage auf der Ebene des gesamten Anbauverfahrens ist so nicht möglich. Durch die integrative Betrachtung des Arbeitsganges der Aussaat mit allen anderen Arbeitsgängen eines Anbauverfahrens lassen sich die Auswirkungen durch die Einführung einer Windauflage auf ein Anbauverfahren wesentlich besser abschätzen. Bei der integrativen Betrachtung wird der Arbeitsgang der Aussaat im Kontext mit den anderen Arbeitsgängen des Anbauverfahren bewertet. Hierzu werden die maximal möglichen Umfänge (ha) aller Arbeitsgänge bestimmt und danach bewertet, an welcher Stelle ein Arbeitsgang den Umfang des Anbauverfahrens limitiert beziehungsweise in welcher Zeitspanne die verfügbaren Feldarbeitstage (FAT) am knappsten sind. Dabei erfolgt die Berechnung des maximalen Umfangs (ha) grundsätzlich wie in Kapitel 3.7 beschrieben. Darüberhinausgehende Kalkulationen werden folgend genauer erörtert.

Aufgrund der großen Datenmenge, die sich aus der Kombination der Stationen, der verschiedenen Anbauverfahren und der Betriebstypen ergibt, wird bei der integrativen Betrachtung auf die Auswertung aller Stationen verzichtet und sich auf die Stationen Boltenhagen (Klimagebiet 9), Teterow (Klimagebiet 12) und Gießen (Klimagebiet 7) beschränkt, welche einen umfangreichen Vergleich von nördlichen, küstennahen und hessischen Gegebenheiten ermöglichen und in welchen zudem verschiedene durchschnittliche Windgeschwindigkeiten vorherrschen. Darüber hinaus liegen die drei ausgewählten Stationen in verschiedenen Klimagebieten.

3.8.1 Die KTBL-Anbauverfahren

Die KTBL-Anbauverfahren bestehen aus den einzelnen Arbeitsgängen, deren Ausführungszeitraum und der Ausführungshäufigkeit. Die Häufigkeit eines Arbeitsgangs ist dabei so zu verstehen, dass gewisse Arbeitsgänge wie die Entnahme von Bodenproben in der Regel nur alle fünf Jahre erfolgt, sodass mit einer Häufigkeit von 0,2 zu rechnen ist. Die Häufigkeit gibt indes nicht an, wie viele Male ein Arbeitsgang während eines Anbauverfahrens insgesamt ausgeführt wird, da Arbeitsgänge, die mehrmals ausgeführt werden wie die Ausbringung von Mineraldünger auch mehrmals als Arbeitsgang im Anbauverfahren ausgeführt werden. Um die Berechnungen unter einer möglichst hohen Arbeitsbelastung zu simulieren, wird angenommen, dass die Häufigkeit jedes Arbeitsganges 1 beträgt. Das heißt, dass jeder Arbeitsgang während des Anbauverfahrens auch tatsächlich ausgeführt wird.

Adversativ zu Kapitel 3.7 erfolgt hier die Anwendung von halbmonatlichen Zeitspannen nach KTBL (2018, S. 253 ff. und 2020b), da sowohl die FAT als auch die Ausführungstermine der Arbeitsgänge der Anbauverfahren grundsätzlich in halbmonatlichen Zeitspannen angegeben werden.

3.8.2 Aktivität eines Arbeitsgangs und Kapazitäten

Ein Arbeitsgang besteht aus mindestens einer oder mehreren Aktivitäten (A). Bei A wird zwischen Feldarbeiten (FA) und den Nicht-Feldarbeiten (NFA) wie Transport (TR), Transport auf Feld (TRF), Trocknen und Lagern (TL), Bodenprobe (BP), Beladen (BLA), Beladen am Feld (BLF) und Beladen am Hof (BLH) unterschieden. Die Kapazität (K) der Arbeitszeit zur Ausführung der NFA wird durch die maximale Arbeitszeit von acht Stunden pro Tag limitiert. Die K für die FA sind durch die FAT und den dazugehörigen jeweiligen Anspruchsstufen (AS) sowie der maximalen Arbeitszeit von acht Stunden am Tag limitiert. Eine Ausnahme bilden die Erntearbeiten, wo von einer maximalen Arbeitszeit von 10 Stunden am Tag ausgegangen wird.

3.8.3 Zuordnung der Feldarbeiten an eine Anspruchsstufe

Die Zuordnung der FA an eine AS erfolgt grundsätzlich nach KTBL (2018, S. 253). Neben FA existieren noch weitere nicht NFA wie TR, TRF, TL, BP, BLA, BLF, BLH und Lohnarbeit, bei welchen eine weitere Einteilung in die AS vorzunehmen ist, welches folgend erläutert wird. Folgend werden FA der AS1 als FA1, FA der AS2 als FA2 und FA der AS3 als FA3 bezeichnet.

Abweichend von KTBL werden in dieser Arbeit die FA Unkrautbonitur und die FA Bestandesbonitur der AS3 in dieser Arbeit wie die BP als NFA eingeordnet, da es grundsätzlich möglich ist, diese Arbeiten unter Bedingungen wie die zur BP durchzuführen.

Wenn eine NFA grundsätzlich nur im unmittelbar zeitlichen Zusammenhang einer FA ausgeführt wird wie BLA mit einer Düngeförderschnecke beim Ausbringen von Mineraldünger, wird der Arbeitszeitananspruch der NFA der FA zugeschlagen und entsprechend KTBL (2018, S. 253) einer AS zugeteilt, sodass diese nicht mehr gesondert in den Arbeitsverfahrenstabellen aufgeführt werden. NFA, die zeitlich unabhängig von einer FA ausgeführt werden können wie BP oder TL, werden keinen FA zugeschlagen und einzeln in den Arbeitsverfahrenstabellen aufgeführt. Da NFA unabhängig von den Bodenbeschaffenheiten ausgeführt werden können und keiner AS zuzuordnen sind, werden ihnen als verfügbare Nicht-Feldarbeitstage (NFAT) die kompletten Tage der entsprechenden Zeitspanne als K angerechnet.

Entgegen KTBL werden hier die NFA Korntransport sowie Lagern und Trocknen in den Arbeitstableaus zusammengefasst und als ein Arbeitsgang angenommen. Ebenfalls wird beim großen Betrieb der Arbeitsgang Saatguttransport, welcher aus den NFA BLA und TR besteht, in den Arbeitsgang Säen mit der Sämaschine integriert. Auch der Wassertransport in Verbindung mit dem Arbeitsgang Pflanzenschutzmittel wird beim großen Betrieb in den Arbeitsgang Pflanzenschutzmittel integriert.

3.8.4 Zeitraum der Feldarbeit Aussaat

Während Tabelle 9 bis Tabelle 12 in Kapitel 3.5 mit den Saatzeitspannen tagesgenaue Zeiträume für die Aussaat nennen, werden in den KTBL-Anbauverfahren die FA zur Aussaat wie die restlichen FA und NFA in halbmonatlichen Zeitspannen angegeben. Ebenfalls ergibt sich bei Addition der einzelnen Saatzeitspannen bei allen betrachteten Kulturen ein wesentlich

größerer Zeitraum zur Aussaat als bei der halbmonatlichen Einteilung nach den KTBL-Anbauverfahren, bei welchen der Zeitraum auf 15 beziehungsweise 15,5 Tage limitiert ist.

Bei der Berechnung der einzelnen Anbauverfahren wird an dieser Stelle deswegen nur die Saatzeitspanne zur optimalen Aussaat berücksichtigt. Dies erfolgt dadurch, dass grundsätzlich derjenige Halbmonat als Ausführungszeitraum der Aussaat gewählt wird, in den die optimale Saatzeitspanne fällt. Das heißt, dass zur Ausführung der Aussaat wie für jeden anderen Arbeitsgang entsprechend KTBL (2020b) die verfügbaren FAT eines Halbmonats zur Verfügung stehen. Weiterführende Erläuterungen hierzu erfolgen in Kapitel 3.10.

3.8.5 Zeitraum und FA Mähdrusch

Auch der Mähdrusch wird in den KTBL-Anbauverfahren (2018, S. 267-478 und 2020b) in halbmonatlichen Zeitspannen angegeben. Nach KTBL (2018, S. 253-255) fällt die Ernte von Getreide (FA Mähdrusch) unter die AS 1. Die FAT der AS 1 werden für die einzelnen Getreidearten nicht in halbmonatlichen Zeiträumen, sondern wie die Saatzeitfenster in Kapitel 3.5 in nicht einheitlich definierten, pflanzenspezifisch tagesgenauen Zeiträumen angegeben. Die Angabe erfolgt anhand von verfügbaren in Mähdruschstunden (10-20 Uhr) für bestimmte Kornfeuchten (14 %, 16 %, 18 %, 20 %, 24 %). Da in dieser Arbeit keine FAT der AS 1 (Mähdruschstunden) berechnet werden, dienen die KTBL-Mähdruschstunden der jeweiligen Klimagebiete als Datengrundlage (KTBL, 2018, S. 249-251). Da bei einer Kornfeuchte von 14 % vor allem im Klimagebiet 9 nur sehr wenige bis keine FAT der AS 1 für alle Getreidearten zur Verfügung stehen, werden in dieser Arbeit grundsätzlich die Werte der nächsthöheren Kornfeuchte von 16 % verwendet. Tabelle 17 zeigt die verschiedenen pflanzenspezifischen Zeiträume und die jeweils verfügbaren Mähdruschstunden bei einer Kornfeuchte von 16 %. Da beim Winterweizen im Erntezeitraum während der ersten Augushälfte sowie bei der Sommergerste während der ersten Julihälfte neben der FA Mähdrusch keine weiteren FA anfallen und bei beiden Kulturen in den halbmonatlichen Zeiträumen vor dem Mähdrusch weder FA noch NFA anfallen, wird in dieser Arbeit, gleich der FA der Aussaat im vorangegangenen Unterkapitel, auf eine gesonderte Zeitraumeinteilung der Mähdruschstunden nach FAT AS 1 verzichtet und stattdessen gemäß der KTBL-Anbauverfahren (2018, S. 267-478 und 2020b) mit halbmonatlichen Zeitspannen gerechnet (siehe Tabelle 17). Das heißt, dass in den notwendigen Berechnungen zum Beispiel

die 68 verfügbaren Mähdruschstunden für den Winterweizen im Klimagebiet 7 nicht im Zeitraum vom 30.07. bis 20.08., sondern vom 01.08. bis 15.08. zur Verfügung stehen.

Tabelle 17: Verfügbare Mähdruschstunden (FAT AS 1) (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2018, S. 253 ff.)

Getreideart	Klimagebiet	Zeitraum Mähdruschstunden FAT1	Zeitraum Mähdruschstunden im Produktionsverfahren	Verfügbare Mähdruschstunden (h) bei einer Kornfeuchte von 16 %
Winterweizen	7	30.07.-20.08.	01.08.-15.08.	68
Winterweizen	9	07.08.-27.08.	01.08.-15.08.	26
Winterweizen	12	06.08.-26.08.	01.08.-15.08.	41
Sommergerste	7	28.07.-17.08.	01.07.-15.07.	77
Sommergerste	9	02.08.-20.08.	01.07.-15.07.	28
Sommergerste	12	30.07.-19.08.	01.07.-15.07.	50

3.9 Arbeitstableau

Grundsätzlich ergibt sich der maximal mögliche Umfang (ha) eines Arbeitsganges aus der Summe der benötigten Arbeitszeiten (h/ha) der einzelnen Aktivitäten (A) eines Arbeitsganges und den zur Verfügung stehenden entsprechenden Kapazitäten (K) an Feldarbeitstagen (FAT). Da die Anspruchsstufen (AS) in der Reihenfolge $AS_1 > AS_2 > AS_3$ abnehmende Ansprüche an die Bodenfeuchte stellen, eignen sich FAT1 auch zur Ausführung von A mit der AS2, der AS3 sowie von Nicht-Feldarbeiten (NFA). Ebenso eignet sich ein FAT2 auch zur Ausführung von A der AS3 und von NFA und ein FAT3 eignet sich ebenfalls zur Ausführung von NFA.

Um dieser Gegebenheit gerecht zu werden, wird auf die Grundidee der Tableauform des Simplexalgorithmus zurückgegriffen, welches ein Verfahren zur linearen Optimierung darstellt (vgl. hierzu Hochstättler, 2010, S. 199-218). Es wird also eine Zielfunktion (hier der Umfang einer Aktivität in ha) unter gegebenen Nebenbedingungen (hier Kapazitäten an FAT pro AS und Halbmonat) maximiert. Die Gleichung 19 zeigt die Zielfunktion des hier verwendeten Modells, nach der es gilt, die zu bewirtschaftende Fläche (Umfang einer Aktivität in ha) zu maximieren.

$$Z = \max! U_k \quad (19)$$

Z = Zielfunktion

U_k = Umfang einer Aktivität in ha

max! = maximieren

Grundsätzlich unterscheidet sich das hier verwendete Modell durch die nicht vorhandenen Zielfunktionswerte, sodass kein systematisches Ein- und Austauschen von Aktivitäten zur Erreichung eines Optimums (lineare Optimierung) notwendig ist. Vielmehr ist die Struktur eines Ungleichungssystems mit Maximum-Bedingungen an dieser Stelle genügend. Das heißt, dass die Kapazitäten (K) gegeben und positiv sind und der Arbeitszeitananspruch der Aktivitäten (AZ_{ik}) der Arbeitsgänge ebenfalls positiv ist.

Weiterhin gilt die Nebenbedingung der Gleichung 20 und die Nichtnegativitätsbedingung der Gleichung 21.

Die Gleichung 20 zeigt die Nebenbedingung, nach der AZ_{ik} kleiner oder gleich den Kapazitäten pro AS und Halbmonat (K_i) ist.

$$\sum_{k=1}^n AZ_{ik} * U_k \leq K_i; \text{ für } i = 1 \dots m \quad (20)$$

AZ_{ik} = Arbeitszeitananspruch der Aktivitäten (A) (h/ha)

U_k = Umfang einer Aktivität in ha

K_i = Kapazitäten (K) (h) pro Anspruchsstufe (AS) und Halbmonat

Die Gleichung 21 zeigt die Nichtnegativitätsbedingung, nach der der Umfang der Aktivitäten (U_k) größer oder gleich null ist.

$$U_k \geq 0; \text{ für } k = 1 \dots n \quad (21)$$

U_k = Umfang einer Aktivität in ha

Da zur Beurteilung der Einführung einer Windaufgabe der maximal mögliche Umfang der einzelnen Arbeitsgänge in einem dazugehörigen Zeitraum errechnet werden soll, um sie in den

Kontext mit dem Arbeitsgang der Aussaat zu stellen, wird auf die Erstellung von Zwischenprodukten verzichtet. Das heißt, dass etwa der Arbeitsgang Aussaat keine Fläche zur Verfügung stellt, die dann durch den Arbeitsgang Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln genutzt werden kann.

Tabelle 18 zeigt beispielhaft den Aufbau des verwendeten Tableaus. Die erste Spalte gibt die K_i an, welchen die dazugehörigen Zeiträume und die FAT der AS als Teilspalten vorgelagert sind. K_i ergibt sich aus den jeweiligen FAT und den angenommenen 8 h beziehungsweise 10 h Arbeitszeit pro Tag. Die zweite Spalte zeigt die Nutzung der K_i durch die AZ_{ik} an, welche sich nach Gleichung 22 aus U_k und AZ_{ik} ergibt.

$$\text{Nutzung} = AZ_{ik} * U_k \quad (22)$$

AZ_{ik} = Arbeitszeitanpruch der Aktivitäten (A) (h/ha)

U_k = Umfang einer Aktivität in ha

In der dritten Spalte befindet sich die Ungleichung, die die Nebenbedingung aus Gleichung 20 beinhaltet. Die restlichen Spalten bis zur vorletzten Spalte enthalten die A der Arbeitsgänge und die dazugehörigen AZ_{ik} .

Die letzte Spalte gibt in der zweiten Zeile die Lösung des maximal möglichen Umfangs des gesamten Anbauverfahrens an, welches durch den kleinsten Umfang der darunter liegenden Umfänge bestimmt wird, was dem kleinsten Lösungswert der A der zweiten Zeile entspricht. Zum besseren Verständnis soll dies nochmals anhand des Beispiels in Tabelle 18 erläutert werden: Im Beispiel beträgt der maximal mögliche Umfang 358,40 ha, was dem kleinsten Umfang im APR2 entspricht und bei der A der Stickstoffdüngung N2 und der Pflanzenschutzmaßnahme 3 liegt. Da U_k , sobald mehr als eine A unterschiedliche AS in einem Halbmonat beansprucht, nicht der Lösung (ha) entspricht, ist neben der Spalte des Umfanges die Zeile der Lösung im Tableau enthalten (siehe folgend: Ansprüche der Aktivitäten und Teilmengen der Kapazitäten). U_k ergibt sich nach Gleichung 23 aus den K und den Arbeitszeitanprüchen derselben Zeile.

$$U_k = K_i / AZ_{ik}; \text{ es gilt } U_k \geq 0; \text{ für } k = 1 \dots n \quad (23)$$

U_k = Umfang einer Aktivität in ha

K_i = Kapazitäten (K) (h) pro Anspruchsstufe (AS) und Halbmonat

AZ_{ik} = Arbeitszeitanspruch der Aktivitäten (A) (h/ha)

Ansprüche der Aktivitäten und Teilmengen der Kapazitäten

Aufgrund des Verzichtes einer Zielfunktion, der Lieferung von K und dem Sachverhalt, dass die A der Arbeitsgänge nicht immer in getrennten Zeiträumen ausgeführt werden, wird folgend die Berechnung des Umfanges bei mehr als einer A im selben Zeitraum beschrieben.

Die K von FAT1 ist Teilmenge der Kapazitäten von FAT2, FAT3 und NFAT, die K von FAT2 ist Teilmenge der K von FAT3 und NFAT und die K von FAT3 ist Teilmenge der K von NFAT. Grundsätzlich gilt also, dass eine A der AS1 neben den K von FAT1 gleichermaßen K von FAT2, von FAT3 und von NFAT beansprucht. Eine A der AS2 beansprucht neben K von FAT2 gleichermaßen K von FAT3 und von NFAT und eine A der AS3 beansprucht neben K von FAT3 gleichermaßen K von NFAT (KTBL, 2018, S. 253). Unterliegen mehrere AZ_{ik} derselben Restriktion durch K_i , dann ergibt sich der Umfang dieser (mehrerer) Aktivitäten U_{kn} durch Division von K_i und der Summe aller AZ_{ik} (siehe Gleichung 24).

$$U_{kn} = K_i / (AZ_{i1} + \dots + AZ_{in}); \text{ es gilt } U_{kn} \geq 0; \quad (24)$$

U_{kn} = Umfang mehrerer Aktivitäten in ha

K_i = Kapazitäten (K) (h) pro Anspruchsstufe (AS) und Halbmonat

AZ_{ik} = Arbeitszeitanspruch der Aktivitäten (A) (h/ha)

Tabelle 18: Beispielhafter Aufbau eines Arbeitstableaus (Quelle: Eigene Berechnungen)

Beispiel Tableau		Kapazitäten (h)	Nutzung (h)	Ungleichung	N _{min} -Probennahme (h/ha)	Bestandesbonitur 1 (h/ha)	Stickstoffdüngung N1 (h/ha)	Bestandesbonitur 2 (h/ha)	Stickstoffdüngung N2 (h/ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (h/ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 3 (h/ha)	Umfang (ha)
LÖSUNG (ha)					1120,00	1120,00	819,29	1240,00	358,40	527,06	358,40	358,40
Zeitraum	FAT der AS											
FEB1	FAT2	1,55		≥								
FEB1	FAT3	73,07		≥								
FEB1	NFAT	112,00	112,00	≥	0,10							1120,00
FEB2	FAT2	14,80		≥								
FEB2	FAT3	80,00		≥								
FEB2	NFAT	112,00	112,00	≥		0,10						1120,00
MRZ1	FAT2	57,35	57,35	≥			0,07					819,29
MRZ1	FAT3	93,00		≥			0,07					
MRZ2	FAT2	63,55		≥								
MRZ2	FAT3	93,00		≥								
MRZ2	NFAT	124,00	124,00	≥				0,10				1240,00
APR1	FAT2	89,60	89,60	≥						0,17		527,06
APR1	FAT3	112,00		≥						0,17		
APR2	FAT2	89,60	89,60	≥					0,08		0,17	358,40
APR2	FAT3	105,60		≥					0,08		0,17	

AS Anspruchsstufe

FAT Feldarbeitstag

FAT_1 Feldarbeitstag der Anspruchstufe 1

FAT_2 Feldarbeitstag der Anspruchstufe 2

FAT_3 Feldarbeitstag der Anspruchstufe 3

N_FAT Nicht-Feldarbeitstag

3.10 Anpassung der KTBL-Anbauverfahren an die ausgewählten Stationen

Für die integrative Betrachtung der Aussaat und die Berücksichtigung aller Arbeitsgänge mithilfe des Arbeitstableaus sind Anpassungen der KTBL-Anbauverfahren an die drei ausgewählten Stationen notwendig, was im Folgenden erläutert wird.

Während bei den Anbauverfahren Arbeitsgänge mit Aktivität (A) als Feldarbeit (FA) im Februar existieren, werden bei den verfügbaren Feldarbeitstagen (FAT) nach KTBL (2018, S. 253) keine Daten für den Februar bereitgestellt. Im März sind zwar nennenswerte Kapazitäten (K) für FAT3, aber nur wenig bis keine K für FAT2 vorhanden (KTBL 2018, S. 258-259). Die eigenen Berechnungen der FAT2 über alle Zeiträume des Jahres zeigen ebenfalls, dass mit Ausnahme für leichte Böden in den hessischen Stationen keine beziehungsweise keine nennenswerte Anzahl an verfügbaren FAT2 vorhanden ist, wohin gegen FAT3 verfügbar sind (siehe Tabelle 109 bis Tabelle 118 im Anhang). Das heißt, dass bei den KTBL-Anbauverfahren Arbeitsgänge mit A als FA in Zeitspannen durchgeführt werden, in welchen nach KTBL keine beziehungsweise keine nennenswerten FAT verfügbar sind. Da die Daten zu den verfügbaren FAT und zu den Anbauverfahren nach der KTBL "Betriebsplanung Landwirtschaft" (KTBL, 2018) also nicht widerspruchsfrei sind, erfolgt hier eine Anpassung der Anbauverfahren durch phänologische Daten des Deutsche Wetterdienstes (DWD), was im Folgenden erläutert wird.

Um nicht gegen das grundsätzliche Konzept der halbmonatlichen KTBL-Zeitspannen durch die Verwendung der in Kapitel 3.5 festgelegten Saatzeitspannen zu verstoßen, werden zur Simplifizierung und Standardisierung die in Kapitel 3.5 gewählten optimalen Saatzeitspannen jeweils auf die halbmonatlichen KTBL-Zeitspannen angepasst. Das heißt zum Beispiel, dass im Fall der Sommergerste die optimale Saatzeitspanne (siehe Tabelle 10) von 30 Tagen auf einen Halbmonat reduziert wird. Weitere Anpassungen der Saatzeitspannen beziehungsweise der Aussaat werden im Folgenden beschrieben. Das bedeutet, dass an dieser Stelle nicht die nach Kapitel 3.5 berechneten FAT nach Saatzeitspannen der Anbauverfahren, sondern die nach Kapitel 3.4 berechneten FAT nach halbmonatlichen KTBL-Zeitspannen Verwendung finden.

Datengrundlage

Weil nach Chen (1994, S. 6 ff.) Stationen anhand von phänologischen und klimatologischen Zeitreihen Naturräumen zugeordnet werden können, werden komplementierend Daten von

Stationen derselben Naturraumgruppe und desselben Naturraums genutzt, wenn keine adäquaten Daten der eigentlichen drei Stationen Gießen (1639), Teterow (5009) und Boltenhagen (596) zur Verfügung stehen.

Für Gießen (1639) sind das die Stationen Krofdorf-Gleiberg (9920) und Odenhausen (9925) der Naturraumgruppe Westhessisches Bergland und des Naturraums Marburg-Gießener Lahntal. Für Teterow (5009) ist das die Station Teterow (Kerngemeinde) (12709) der Naturraumgruppe Rückland der Mecklenburgischen Seenplatte und des Naturraums Oberes Peenegebiet (mit Teterower und Malchiner Becken). Für die Station Boltenhagen (596) stehen direkt phänologische Daten zur Verfügung. Bei den verwendeten Daten wird sich auf Datensätze, die weniger als 30 Jahre alt sind, beschränkt. Aufgrund des gewählten Zeitraums von Halbmonaten werden die phänologischen Daten als Durchschnitt über die Jahre ermittelt.

Temperatursummenmodell zur Prognose des Vegetationsbeginns

Da die phänologischen DWD-Daten keine Daten zum Vegetationsbeginn liefern, wird dieser durch das Temperatursummenmodell zur Prognose des Vegetationsbeginns von Ernst und Loeper (1976) ermittelt. Die Tagesmitteltemperaturen über 0 °C werden hierbei ab dem 1. Januar aufsummiert und die Temperaturen der Monate Januar und Februar bei der Temperatursummen mit dem Faktor 0,50 beziehungsweise 0,75 gewichtet. Die Temperaturen folgender Monate werden ungewichtet in die Temperatursumme eingerechnet. Der Vegetationsbeginn ist bei einer Temperatursumme von 200 °C erreicht. Nach Hofmann und Frühauf (2017, S. 91 ff.) stimmt der nach Ernst und Loeper (1976) ermittelte Vegetationsbeginn gut mit den phänologischen Beobachtungen des Ergrünens von Grünlandbeständen überein. Als Datengrundlage zur Berechnung dienen die DWD-Stationsdaten der ausgewählten Stationen. Aufgrund des gewählten Zeitraums von Halbmonaten wird der durchschnittliche Vegetationsbeginn über die Jahre als Vegetationsbeginn für die Anbauverfahren festgelegt.

3.10.1 Phänologische Daten

Tabelle 19 bis Tabelle 21 zeigen die vom DWD erfassten phänologischen Phasen (Phasen_id und Phase) der ausgewählten Kulturen inklusive der dazugehörigen BBCH-Codes (Meier,

2001). Die Daten zu den Phasen werden tagesgenau angegeben und jährlich erhoben. Mit den Daten zur Phase "Bestellung Beginn" lässt sich der tatsächliche Beginn der Aussaat feststellen.

Tabelle 19: Phänologische Phasen des Winterweizens und der Sommergerste nach DWD inklusive dazugehöriger BBCH-Codes (Quelle: Eigene Darstellung nach DWD, 2021 und Meier, 2001)

Phasen_id	Phase	BBCH-Code
10	Bestellung Beginn	0
12	Auflaufen Beginn	10
15	Schossen Beginn	31
18	Ährenschieben Beginn	51
19	Milchreife Beginn	75
21	Gelbreife Beginn	87
22	Vollreife Beginn	
24	Ernte	

Tabelle 20: Phänologische Phasen des Mais nach DWD inklusive dazugehöriger BBCH-Codes (Quelle: Eigene Darstellung nach DWD, 2021 und Meier, 2001)

Phasen_id	Phase	BBCH-Code
5	Blühbeginn	61
6	Vollblüte	
10	Bestellung Beginn	
12	Auflaufen Beginn	0-10
19	Milchreife	75
20	Teigreife	85-87
21	Gelbreife	89
24	Ernte	
65	Fahnschieben Beginn	51
67	Längenwachstum Beginn	30

Tabelle 21: Phänologische Phasen der Zuckerrübe nach DWD inklusive dazugehöriger BBCH-Codes (Quelle: Eigene Darstellung nach DWD, 2021 und Meier, 2001)

Phasen_id	Phase	BBCH-Code
10	Bestellung Beginn	
12	Auflaufen Beginn	10
13	Bestand, geschlossen	39
24	Ernte	

Tabelle 22 und Tabelle 23 zeigen die vorhandenen Datensätze (n), welche für die Bestimmung des durchschnittlichen Eintrittstermins der phänologischen DWD-Phase für die ausgewählten Stationen verwendet werden. Tabelle 24 bis Tabelle 26 zeigen den durchschnittlichen Vegetationsbeginn sowie die ermittelten durchschnittlichen Eintrittstermine der phänologischen DWD-Phasen der ausgewählten Stationen. Da für die Sommergerste und die Zuckerrübe für die Stationen in derselben Naturraumgruppe und desselben Naturraums keine adäquaten Daten vorliegen, findet hier keine Anpassung der Anbauverfahren durch phänologische Daten statt. Die Ausführungsmonate nach KTBL werden der KTBL-Web-Anwendung "Verfahrensrechner Pflanze" entnommen (KTBL, 2020b).

Tabelle 22: Anzahl der Datensätze zur Bestimmung der phänologischen DWD-Phasen des Winterweizens (Quelle: Eigene Berechnung)

	Vegetationsbeginn (n)	10 Bestellung (n)	12 Auflaufen (n)
Boltenhagen (596)	32	20	20
Teterow (5009)	17	24	23
Gießen (1639)	32	54	55
	15 Schossen (n)	18 Ährenschieben (n)	24 Ernte (n)
Boltenhagen (596)	17	28	18
Teterow (5009)	24	24	24
Gießen (1639)	53	54	55

Tabelle 23: Anzahl der Datensätze zur Bestimmung der phänologischen DWD-Phasen des Mais (Quelle: Eigene Berechnung)

	10 Bestellung (n)	12 Auflaufen (n)	65 Fahnenschieben (n)
Boltenhagen (596)	13	13	19
Teterow (5009)	12	12	11
Gießen (1639)	23	23	21
	67 Längenwachstum (n)	24 Ernte (n)	
Boltenhagen (596)	13	14	
Teterow (5009)	12	12	
Gießen (1639)	18	23	

Tabelle 24: Durchschnittlicher Vegetationsbeginn (Quelle: Eigene Berechnung)

	Vegetationsbeginn
Boltenhagen (596)	12.03.
Teterow (5009)	14.03.
Gießen (1639)	06.03.

Tabelle 25: Termine der phänologischen DWD-Phasen des Winterweizens (Quelle: Eigene Berechnung)

	10 Bestellung	12 Auflaufen	15 Schossen	18 Ährenschieben	24 Ernte
Boltenhagen (596)	21.09.	01.10.	23.04.	04.06.	07.08.
Teterow (5009)	13.09.	25.09.	09.04.	27.05.	05.08.
Gießen (1639)	30.09.	11.10.	15.04.	27.05.	04.08.

Tabelle 26: Termine der phänologischen DWD-Phasen des Mais (Quelle: Eigene Berechnung)

	10 Bestellung	12 Auflaufen	65 Fahnenschieben
Boltenhagen (596)	24.04.	08.05.	16.07.
Teterow (5009)	26.04.	12.05.	14.07.
Gießen (1639)	04.05.	17.05.	08.07.
	67 Längenwachstum	24 Ernte	
Boltenhagen (596)	29.05.	23.09.	
Teterow (5009)	29.05.	24.09.	
Gießen (1639)	08.06.	25.09.	

3.10.2 Anpassungen des Winterweizens

Beim Winterweizen liegen die Arbeitsgänge $N_{\min}$ -Probennahme im FEB1 und die Arbeitsgänge Bestandesbonitur sowie Mineraldünger ausbringen 1 im FEB2. Da unter gegebenen Bedingungen im Februar keine nennenswerten Umfänge an Arbeitsgängen realisiert werden können, werden die KTBL-Anbauverfahren mit Hilfe der phänologischen DWD-Datensätze zu den Eintrittsterminen der verschiedenen Entwicklungsstadien landwirtschaftlicher Kulturpflanzen von der Bestellung bis zur Ernte (DWD, 2021) an die Stationen angepasst. Tabelle 27 zeigt die Ausführungstermine der Arbeitsgänge nach KTBL (2020b) und die Anpassungen anhand der ermittelten phänologischen Phasen, welche im Folgenden genau erläutert werden.

Für die Anbauverfahren des Winterweizens kann der Arbeitsgang der Aussaat grundsätzlich mit der phänologischen Phase 10 (Bestellung), die Stickstoffdüngung N1 mit dem durchschnittlichen Vegetationsbeginn, die Stickstoffdüngung N2 mit der phänologischen Phase 15 (Schossen), die Stickstoffdüngung N3 mit der phänologischen Phase 24 (Ährenschieben) und der Mähdrusch mit der phänologischen Phase 24 (Ernte) bestimmt und angepasst werden (siehe Tabelle 24 und Tabelle 25). Das KTBL-Anbauverfahren rechnet mit insgesamt drei Stickstoffdüngegaben. Die Zeitpunkte der Düngegaben richten sich nach den gewünschten Qualitätseigenschaften und regionalen Besonderheiten. Grundsätzlich lassen sich die Zeitpunkte bei drei Stickstoff-Düngegaben in eine Gabe zum Vegetationsbeginn, die Schossgabe (BBCH 30-32) und die Spätgabe (EC 39-49) einteilen (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021 und Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2021). Während mit den phänologischen Daten zum Schossen (BBCH 31) der Zeitraum für die Schossgabe (BBCH 30-32) relativ genau bestimmt werden kann, lassen die Daten zum Ährenschieben (BBCH 51) nur etwaige Rückschlüsse zur Spätgabe (EC 39-49) zu. Da die KTBL-Arbeitsschritte in den Anbauverfahren ohnehin nur für halbmonatliche Zeiträume angegeben werden, ist die Anpassung der Zeiträume zur Schoss- und Spätgabe für die Anbauverfahren auch bei etwaigen Rückschlüssen problemlos möglich.

Säen mit der Sämaschine und Bestellung

Die in Tabelle 9 erfolgte Einteilung der optimalen Saatzeitspanne für Winterweizen vom 01.10.-19.10. für die nördlichen Stationen und vom 25.09.-14.10. für die hessischen Stationen entspricht nur ungefähr dem KTBL-Termin. In Boltenhagen und Teterow ergibt sich dabei aber

eine größere Diskrepanz zwischen der Phase Bestellung (10) und dem KTBL-Termin zur Aussaat als in Gießen. Die Bestellung (10) am 30.09. in Gießen entspricht ziemlich genau dem KTBL-Termin und der optimalen Saatzeitspanne. Die Bestellung (10) in Boltenhagen und Teterow lassen dahingegen darauf schließen, dass die tatsächliche Aussaat in diesen Stationen mehr der sehr frühen und der frühen als der optimalen Saatzeitpanne entspricht. Da hier aber die Berechnung der Anbauverfahren zur optimalen Aussaatzeitspanne erfolgen soll, wird der KTBL-Termin zum Arbeitsgang Säen mit Sämaschine beibehalten.

Stickstoffdüngung N1 und Vegetationsbeginn

Während die erste Düngegabe bei KTBL im FEB2 erfolgt, zeigt sich, dass die Vegetation in allen Stationen deutlich später beginnt (siehe Tabelle 24). Da in Boltenhagen und Teterow im Frühjahr relativ wenige FAT verfügbar sind, wird stattdessen hier MRZ2 als angepasster Zeitraum festgelegt. Für Gießen wird MRZ1 angenommen.

Stickstoffdüngung N2 und Schossen

Während KTBL die Schossgabe im APR1 angibt, ist sie mit Ausnahme von Teterow nach den phänologischen Daten eher im APR2 zu verorten. Für die Stationen Boltenhagen und Gießen wird daher beim angepassten Anbauverfahren für die Schossgabe der Zeitraum APR2 gewählt, während in Teterow der KTBL-Zeitraum APR1 angenommen wird.

Stickstoffdüngung N3 und Ährenschieben

Da die Spätgabe (EC 39-49) vor dem Ährenschieben (BBCH 51) erfolgen sollte, wird für die Stationen Teterow und Gießen der KTBL-Zeitraum der Spätgabe auf MAI2 vorgeschoben, während für Boltenhagen JUN1 beibehalten wird.

Mähdrusch und Ernte

Die phänologischen Daten zur Ernte stimmen mit dem KTBL-Zeitraum zum Mähdrusch überein, sodass hier keine Anpassungen vorgenommen werden.

Restliche Arbeitsgänge

Da für die restlichen Arbeitsgänge keine Adjustierungen durch phänologische Daten möglich sind und sich durch die getätigten Anpassungen keine kontradiktorischen Beziehungen zwischen den Arbeitsgängen ergeben, werden hier die KTBL-Zeiträume beibehalten.

Tabelle 27: Ausführungszeiträume der Arbeitsgänge der Anbauverfahren des Winterweizens nach KTBL und nach vorgenommener Anpassung (Quelle: KTBL, 2020b und eigene Berechnung)

Arbeitsgang, (Anbauverfahren)	KTBL-Zeitraum	Angepasster Zeitraum		
		Gießen	Teterow	Boltenhagen
Bodenprobe	SEP1	SEP1	SEP1	SEP1
Mineraldünger ausbringen; Grunddüngung	SEP1	SEP1	SEP1	SEP1
Pflanzenschutzmaßnahme (Direktsaat)	OKT1	OKT1	OKT1	OKT1
Tiefgrubbern (nichtwendend)	SEP2	SEP2	SEP2	SEP2
Pflügen mit Drehpflug (wendend)	SEP2	SEP2	SEP2	SEP2
Eggen mit Saatbettkombination (wendend)	OKT1	OKT1	OKT1	OKT1
Säen mit Sämaschine (wendend)	OKT2	OKT2	OKT2	OKT2
Säen mit Kreiselegge und Sämaschine (nichtwendend)	OKT2	OKT2	OKT2	OKT2
Säen mit Direktsaatmaschine (Direktsaat)	OKT2	OKT2	OKT2	OKT2
Unkrautbonitur	OKT2	OKT2	OKT2	OKT2
Pflanzenschutzmaßnahme	OKT2	OKT2	OKT2	OKT2
N _{min} -Probennahme	FEB1	FEB1	FEB1	FEB1
Bestandesbonitur	FEB2	FEB2	FEB2	FEB2
Stickstoffdüngung N1	FEB2	MRZ1	MRZ2	MRZ2
Bestandesbonitur	MRZ2	MRZ3	MRZ4	MRZ5
Stickstoffdüngung N2	APR1	APR2	APR1	APR2
Pflanzenschutzmaßnahme	APR1	APR1	APR1	APR1
Pflanzenschutzmaßnahme	APR2	APR2	APR2	APR2
Bestandesbonitur	MAI1	MAI2	MAI3	MAI4
Stickstoffdüngung N3	JUN1	MAI2	MAI2	JUL1
Pflanzenschutzmaßnahme	JUN1	JUN2	JUN3	JUN4
Mähdrusch	AUG1	AUG1	AUG1	AUG1
Korntransport	AUG1	AUG1	AUG1	AUG1
Lagern und Trocknen	AUG1	AUG1	AUG1	AUG1
Kalk ab Feld streuen	AUG2	AUG2	AUG2	AUG2
Stoppelbearbeitung, flach (wendend, nichtwendend)	AUG2	AUG2	AUG2	AUG2
Stoppelbearbeitung, tief (wendend, nichtwendend)	SEP2	SEP3	SEP4	SEP5

3.10.3 Anpassungen des Mais

Da beim Mais alle Arbeitsverfahren in Zeitspannen mit ausreichenden Kapazitäten an FAT liegen und die ermittelten phänologischen Phasen mit Ausnahme des späteren Aussaatbeginns

in Gießen keine großen Unterschiede aufweisen sowie ohnehin nur die Ausbringung des Mineraldüngers zum Längenwachstum durch phänologische Daten adjustiert werden kann, wird beim Mais auf Anpassungen verzichtet (siehe Tabelle 28).

Tabelle 28: Ausführungszeiträume der Arbeitsgänge der Anbauverfahren von Mais nach KTBL (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)

Arbeitsgang, (Anbauverfahren)	KTBL-Zeitraum
Bodenprobe	SEP2
Mineraldünger ausbringen 1	OKT1
Tiefgrubbern (nichtwendend)	OKT2
Pflügen mit Drehpflug (wendend)	OKT2
Eggen mit Federzinkenegge (wendend)	MRZ2
N _{min} -Probennahme	MRZ2
Gülle ausbringen	APR1
Eggen mit Saatbettkombination (wendend)	APR1
Eggen mit Kreiselegge (nichtwendend)	APR1
Einzelkornsaat	APR2
Pflanzenschutzmaßnahme 1	APR2
Unkrautbonitur 1	MAI1
Pflanzenschutzmaßnahme 2	MAI1
Bestandesbonitur 1	MAI2
Mineraldünger ausbringen 2	MAI2
Häckseln, transportieren und festfahren	SEP2
Silo reinigen und mit Folie verschließen	SEP2
Kalk ab Feld streuen	OKT1
Stoppelbearbeitung, flach	OKT1

3.10.4 Anpassungen der Sommergerste

Da eine termingenaue Bestimmung der phänologischen Phasen bei der Sommergerste aufgrund fehlender Daten nicht möglich ist, kann keine verlässliche Adjustierung durchgeführt werden. Aber aufgrund dessen, dass im FEB2 und MRZ1 nur marginale bis keine FAT vorhanden sind, werden folgende Abweichungen von KTBL (2020b) gemacht, welche in Tabelle 29 dargestellt sind.

Beim wendenden Anbauverfahren wird die Ausführung der Arbeitsgänge Eggen mit Saatbettkombination, Säen mit der Sämaschine, Mineraldünger ausbringen 2, Unkrautbonitur 1 und

Pflanzenschutzmaßnahme 1 um einen halben Monat nach hinten verschoben. Beim nichtwendenden und direkten Anbauverfahren (Direktsaat) wird die Ausführung der Arbeitsgänge $N_{\min}$ -Probennahme, Pflanzenschutzmaßnahme 1, Säen mit Kreiselegge beziehungsweise Säen mit Direktsaatmaschine, Mineraldünger ausbringen 2, Unkrautbonitur 1 und Pflanzenschutzmaßnahme 2 um einen halben Monat nach hinten verschoben. Die Anpassung der $N_{\min}$ -Probennahme dient dabei lediglich der Einheitlichkeit der Anbauverfahren.

Tabelle 29: Ausführungszeiträume der Arbeitsgänge der Anbauverfahren der Sommergerste nach KTBL und nach vorgenommener Anpassung (Quelle: KTBL, 2020b und eigene Berechnung)

Arbeitsgang, (Anbauverfahren)	KTBL-Zeitraum	Angepasster Zeitraum
Bodenprobe	SEP2	SEP2
Mineraldünger ausbringen 1	OKT1	OKT1
Tiefgrubbern (nichtwendend)	OKT2	OKT2
Pflügen mit Drehpflug (wendend)	OKT2	OKT2
Eggen mit Saatbettkombination (wendend)	FEB2	MRZ1
$N_{\min}$ -Probennahme (wendend)	FEB2	FEB3
$N_{\min}$ -Probennahme (nichtwendend, Direktsaat)	FEB1	FEB2
Pflanzenschutzmaßnahme 1 (nichtwendend, Direktsaat)	FEB2	MRZ1
Säen mit Sämaschine (wendend)	MRZ1	MRZ2
Säen mit Kreiselegge und Sämaschine (nichtwendend)	MRZ1	MRZ2
Säen mit Direktsaatmaschine (Direktsaat)	MRZ1	MRZ2
Mineraldünger ausbringen 2	MRZ1	MRZ2
Unkrautbonitur 1	MRZ2	APR1
Pflanzenschutzmaßnahme 1 (wendend)	MRZ2	APR1
Pflanzenschutzmaßnahme 2 (nichtwendend, Direktsaat)	MRZ2	APR1
Bestandesbonitur	JUN1	JUN1
Pflanzenschutzmaßnahme 2 (wendend)	JUN1	JUN1
Pflanzenschutzmaßnahme 3 (nichtwendend, Direktsaat)	JUN1	JUN1
Mähdrusch	JUL2	JUL2
Korntransport	JUL2	JUL2
Lagern und Trocknen	JUL2	JUL2
Kalk ab Feld streuen	AUG1	AUG1
Stoppelbearbeitung, flach (wendend, nichtwendend)	AUG1	AUG1
Stoppelbearbeitung, tief (wendend, nichtwendend)	SEP1	SEP2

3.10.5 Anpassungen der Zuckerrübe

Auch bei der Zuckerrübe ist aufgrund mangelnder Datenlage keine termingenaue Bestimmung der phänologischen Phasen und keine Adjustierung der Arbeitsgänge möglich. Da der optimale Aussaatzeitraum der Zuckerrübe vom 26.03.-10.04. liegt (siehe Tabelle 12), wird abweichend von KTBL (2020b) hier APR1 zur Aussaat angenommen. Aufgrund dessen werden alle Arbeitsgänge der Anbauverfahren der Zuckerrübe, mit Ausnahme von Tiefgrubbern beim nichtwendenden Anbauverfahren, Pflügen mit Drehpflug beim wendenden Anbauverfahren, Bodenprobe beim wendenden Anbauverfahren und $N_{\min}$ -Probennahme bei beiden Anbauverfahren entsprechend der Verschiebung der Aussaat, ebenfalls um einen halben Monat nach hinten verschoben (siehe Tabelle 30).

Tabelle 30: Ausführungszeiträume der Arbeitsgänge der Anbauverfahren der Zuckerrübe nach KTBL und nach vorgenommener Anpassung (Quelle: KTBL, 2020b und eigene Berechnung)

Arbeitsgang, (Anbauverfahren)	KTBL-Zeitraum	Angepasster Zeitraum
Bodenprobe (wendend)	SEP2	SEP3
Bodenprobe (nichtwendend)	SEP1	SEP2
Mineraldünger ausbringen 1	OKT1	OKT2
Tiefgrubbern (nichtwendend)	OKT2	OKT2
Pflügen mit Drehpflug (wendend)	OKT2	OKT2
$N_{\min}$ -Probennahme (wendend)	FEB2	FEB2
$N_{\min}$ -Probennahme (nichtwendend)	FEB1	FEB1
Eggen mit Saatbettkombination (wendend)	MRZ1	MRZ2
Mineraldünger ausbringen 2	MRZ1	MRZ3
Eggen mit Kreiselegge	MRZ1	MRZ4
Einzelkornsaat	MRZ2	APR1
Unkrautbonitur	MRZ2	APR2
Pflanzenschutzmaßnahme 1	MRZ2	APR3
Pflanzenschutzmaßnahme 2	MAI2	JUN1
Bestandesbonitur	JUL2	AUG1
Pflanzenschutzmaßnahme 3	AUG1	AUG2
Roden	SEP2	OKT1
Kalk ab Feld streuen	OKT1	OKT2
Stoppelbearbeitung, flach	OKT1	OKT2

3.11 Vergleich und Bewertung von Arbeitsgängen und Anbauverfahren

Der Umfang eines Anbauverfahrens ergibt sich aus den Umfängen der einzelnen Arbeitsverfahren, was bedeutet, dass der Verfahrensumfang immer durch den Arbeitsgang mit dem geringsten Umfang determiniert wird. Die Umfänge aller Arbeitsgänge innerhalb eines Anbauverfahrens werden entsprechend der vorausgegangenen Kapitel berechnet. Das Ziel ist hier die Aussaat nicht isoliert, sondern integrativ als einen von vielen Arbeitsgängen des Anbauverfahrens zu analysieren und einzuordnen. Die Umfänge sind alle als Umfänge je Flächeneinheit (ha) zu verstehen.

3.11.1 Ordnung der Restriktionen

Durch die Ordnung der Restriktionen wird die Reihenfolge, in welcher die Arbeitsgänge zur Beschränkung des Verfahrensumfanges führen, festgelegt. Dabei wird mit dem Arbeitsgang, der den niedrigsten (maximal möglichen) Umfang aufweist, begonnen. Dieser Arbeitsgang bildet die Restriktion erster Ordnung, welcher den Verfahrensumfang des Anbauverfahrens genau beschränkt und damit festlegt. Die Restriktion zweiter Ordnung ist dabei der Arbeitsgang mit dem nächsthöheren Umfang und so weiter. Die Restriktion mit der höchsten Ordnungsnummer ist der Arbeitsgang, dessen Umfänge verglichen mit den anderen Arbeitsgängen des Anbauverfahrens am höchsten ist.

3.11.2 Die Aussaat und die Ordnung der Restriktionen

Da der Arbeitsgang der Aussaat in dieser Arbeit von primärem Interesse ist, wird bei seiner Einreihung in die Ordnung der Restriktionen bedacht, dass die Berechnungen der möglichen Umfänge der Arbeitsgänge und der Anbauverfahren durch das 20 %-Quantil der Feldarbeitstage (FAT) berechnet wird. Auch wenn es basierend auf den Berechnungen so sein kann, dass die Aussaat auf Basis des 20 %-Quantils der FAT nicht die Restriktion erster Ordnung bildet, könnte es in der Realität aufgrund eines geringen Abstands zwischen dem Umfang der Aussaat und der Restriktion erster Ordnung in einzelnen Anbaujahren trotzdem dazu kommen, dass die Aussaat den Verfahrensumfang in erster Ordnung beschränkt. Es wird daher vereinfacht angenommen, dass ab einem Abstand zwischen dem Umfang zur Aussaat und dem Verfah-

rensumfang von weniger als 20 ha eine Restriktion durch die Aussaat möglich sein kann. Diesem Sachverhalt wird durch heuristische Erläuterung der Ergebnisse Sorge getragen. Dies bedeutet, dass eine Beschreibung der Ergebnisse erfolgt, ohne dass dabei die vollständigen Informationen über die Wahrscheinlichkeiten, wie sie ansatzweise in Kapitel 3.14 berechnet werden, vorliegen.

3.11.3 Ernte, Lohnarbeiten und die Ordnung der Restriktionen

Im Ergebnis stellt oftmals die Ernte den limitierenden Faktor des Verfahrensumfanges dar. Bei den Anbauverfahren mit Mähdrusch liegt das vor allem an der geringen Anzahl der verfügbaren Mähdruschstunden.

Der überbetriebliche Einsatz von Maschinen und Arbeitskräften sowie von Lohnarbeiten ist in der landwirtschaftlichen Praxis weit verbreitet. So ergibt eine Befragung von Landwirten, dass sie einen Großteil aller Arbeiten im Getreideanbau, mit Ausnahme der Ernte, selbst erledigen. Die Ernte erfolgt nur zu 31 % mit eigener Arbeitskraft und eigener Maschine (Mayr, 2011). Dies trifft hier besonders auf die Ernte von Zuckerrüben und Mais zu. Auch beim Mais ergibt die Umfrage von Mayr (2011), dass nur 28 % der Landwirte die Maisernte selbst mit eigener Maschine durchführen und dass die Beteiligung an Gemeinschaftsmaschinen bei selten genutzten Maschinen wie dem Güllefass besonders hoch ist. Demnach ist in Österreich jeder fünfte Landwirt an einem Gemeinschaftsgüllefass beteiligt. Auch bei der Zuckerrübenernte ist Lohnarbeit gängige Praxis (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S. 17). Auch Hartung et al. (2014, S. 67-68) kommen zum Ergebnis, dass Lohnarbeiten, vor allem zu Arbeitsgängen der Ernte, in der Praxis weit verbreitet sind.

Um diesem Sachverhalt gerecht zu werden, erfolgt in Kapitel 4.7 für den Fall, dass die Ernte das Anbauverfahren genuin und die Aussaat das Anbauverfahren an zweiter Stelle beschränkt und der Abstand der Umfänge beider Restriktionen mehr als 20 ha beträgt, eine schriftliche Erläuterung über die Möglichkeit des überbetrieblichen Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz sowie von Lohnarbeiten während der Ernte. Darüber hinaus erfolgt in Kapitel 4.7 neben dem Vergleich der Anbauverfahren grundsätzlich additional der Vergleich der Anbauverfahren unter Außerachtlassung der Erntearbeiten. Zudem erfolgt für die Anbauverfahren von Mais die

zusätzliche Analyse der Anbauverfahren unter Weglassung der Ausbringung der Gülle, da dieser Arbeitsgang ebenfalls oft im Lohn ausgeführt wird und den Verfahrensumfang meist direkt limitiert oder eine niedrigere Restriktionsordnung als die Aussaat einnimmt. Da die Gülleausbringung beim Mais zusammen mit Eggen mit Kreiselegge im APR1 durchgeführt wird, erfolgt hier eine separate Berechnung der Anbauverfahren ohne Gülleausbringung.

3.11.4 Bewertung und Vergleich der Anbauverfahren und der Aussaat

Die Anbauverfahren der Kulturen werden anhand ihres möglichen Verfahrensumfanges miteinander verglichen. Dabei wird ein hoher Verfahrensumfang als vorteilhaft und ein niedriger Verfahrensumfang als nachteilig betrachtet. Da die Bewertung der Aussaat hier von besonderem Interesse ist, wird zusätzlich zum Verfahrensumfang auch der Umfang der Aussaat sowie deren Ordnung in den Restriktionen aufgeführt. Ein hoher Umfang und eine hohe Ordnungsnummer bei den Restriktionen gilt hier ebenfalls als vorteilhaft und ein niedriger Verfahrensumfang und niedrige Ordnungsnummern als nachteilig. Auch hier werden mit der zusätzlichen Darstellung der Arbeitsgänge zur Ernte in der komprimierten Ergebnisdarstellung in Kapitel 4.7 die vorangegangenen Überlegungen berücksichtigt, dass die FAT auf Basis der 20 %- Quantils berechnet werden und dass überbetrieblicher Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz sowie Lohnarbeiten in der Landwirtschaft gängige Praxis sind. Neben dem Verfahrensumfang wird deshalb auch der Abstand der Aussaat zur Restriktion erster Ordnung sowie die nicht eigenständige Erledigung der Erntearbeiten für den Fall, dass diese die Restriktion erster Ordnung bilden, berücksichtigt. Es wird angenommen, dass ein großer Abstand zwischen dem Umfang der Aussaat und dem Verfahrensumfang sowie dem Umfang der Ernte von Vorteil und ein niedriger Abstand von Nachteil ist.

3.12 Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes zur Aussaat ohne und mit Windauflage

Um eine überbetriebliche Kostenanalyse zu ermöglichen, werden nach Lips und Bolli (2007) 1000 ha als Referenzfläche angenommen, die zur Aussaat zu bestellen sind. Dies bedeutet nicht, dass die Betriebsgröße dieser Fläche entsprechen muss, sondern es wird in jeder Region abstrahierend von einzelnen Betrieben die optimale Maschinendichte gesucht. Das heißt, dass

die Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes für 1000 ha betriebsunabhängig erfolgt. Der Aussaatzeitraum besteht dabei aus den in Kapitel 3.5 festgelegten akzeptablen Saatzeitspannen sowie einer ungünstigen Saatzeitspanne, die alle Termine außerhalb dieser Zeitspannen umfasst. An dieser Stelle werden die möglichen Tage zur Aussaat angenommen, die dem 20 %- Quantil der verfügbaren Feldarbeitstage (FAT) der jeweiligen Stationen entsprechen. Dieses Quantil wird auch üblicherweise bei den Tabellenwerken der KTBL-Betriebsplanung unterstellt und gibt die FAT, die in 80 % aller Jahre mindestens zur Verfügung stehen, an (KTBL, 2018, S. 253). Insofern stellt der Wert des kostenminimalen Maschineneinsatzes keinen Erwartungswert der Kosten dar, sondern entspricht dem Quantil der Kosten im Hinblick auf die FAT. Bei der ungünstigen Saatzeitspanne wird keine Restriktion durch verfügbare FAT angenommen. Dies bedeutet, dass in der ungünstigen Saatzeitspanne genügend FAT zur Verfügung stehen, um die 1000 ha in jedem Fall vollständig zu bestellen. Die ungünstigen Saatzeiträume können zeitlich allen anderen Saatzeiträumen vor- oder nachgelagert sein. Durch die Schlagkraft der Maschinen und der FAT der jeweiligen Saatzeitspannen ergibt sich der Umfang (ha), welcher in einer Saatzeitspanne bestellt werden kann. Dabei wird angenommen, dass zunächst die Saatzeitspannen zur Aussaat genutzt werden, welche zu den höchsten Erträgen führen, und erst danach die Saatzeitspannen mit abnehmenden Erträgen, solange bis die 1000 ha vollständig bestellt sind. Um den kostenminimalen Maschineneinsatz zur Aussaat zu berechnen, wird die Anzahl der Aussaatmaschinen ausgehend von einer Maschine pro 1000 ha so lange erhöht, bis der kostenminimale Maschineneinsatz erreicht wird.

Es wird an dieser Stelle die Erhöhung der Maschinenanzahl pro 1000 ha gewählt, da Rabenau und Aurbacher (2023) gezeigt haben, dass eine Optimierung der Aussaatkosten bei einer Austauschbeziehung zwischen der Erhöhung der Maschinenanzahl, der Verwendung unterschiedlicher Arbeitsbreiten und der Realisation von Ertragsverlusten unter denselben methodischen Annahmen wie in dieser Arbeit immer zu einem Optimum durch die Steigerung der Maschinenanzahl für die Sämaschine mit einer Arbeitsbreite von 4 m führt. Das bedeutet, dass unter den von ihnen getroffenen Annahmen die Erhöhung der Arbeitsbreite in keinem der betrachteten Fälle zur kostenoptimalen Aussaat führt. Daher bleibt die Alternative verschiedener Arbeitsbreiten zur Optimierung hier unberücksichtigt und stattdessen wird das Optimum für zwei festgelegte Arbeitsbreiten des kleinen und des großen Betriebs berechnet.

Für die Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes nach Lips und Bolli (2007) ist es entgegen den Annahmen in Kapitel 3.6 notwendig, eine unbegrenzte Anzahl an Arbeitskräften (einschließlich Sämaschinen und Schlepper) anzunehmen. Es wird dabei angenommen, dass sich die Kosten zur Aussaat aus den Maschinenkosten der Sämaschinen, der Schlepper, den Lohnkosten sowie den Ertragsverlusten bei Aussaat in nicht optimalen und ungünstigen Aussaatzeiträumen zusammensetzen. Schlepper- und Lohnkosten werden dabei nur der Vollständigkeit halber berücksichtigt, da sie aufgrund der gewählten Methodik zu keinen Kostenunterschieden bei der Berücksichtigung der Windauflage führen. Das Prozedere wird für die FAT ohne und mit Windauflage durchgeführt, um abschließend die jeweils notwendige Anzahl an Maschinen, die Maschinenkosten, den Ertragsverlust durch nicht optimale und ungünstige Saatzeitspannen sowie den durchschnittlichen Ertrag miteinander zu vergleichen.

An dieser Stelle erfolgt die Berechnung des Arbeitsgangs der Aussaat wieder isoliert von den restlichen Arbeitsgängen der Anbauverfahren. Da die Arbeitsgänge, die im gleichen Zeitraum wie die Aussaat ausgeführt werden, unberücksichtigt bleiben, werden die Aussaatkosten bei der verwendeten Berechnung tendenziell unterbewertet. Für die Kalkulation der Kostensteigerungen durch die Windauflage ergeben sich durch die Nichtachtung aber keine Auswirkungen. Die zusätzliche Berücksichtigung anderer Arbeitsgänge, die im gleichen Zeitraum wie die Aussaat durchgeführt werden, würde die Trade-off-Beziehung zwischen der Anzahl der Sämaschinen und den Ertragsverlusten erweitern, da für diese Arbeitsgänge auch weitere Maschinen benötigt würden. Dies würde die Komplexität des Modells erhöhen, da nicht nur die Sämaschinen, sondern auch die Maschinen für die anderen Arbeitsgänge im gleichen Zeitraum berücksichtigt werden müssten, was zu einer weitergehenden Fragestellung hinsichtlich der kostenoptimalen Maschinenausstattung und der Koordination der Maschinen untereinander führt. Der Einfachheit halber wird deswegen in diesem Kapitel auf die Berücksichtigung dieser Arbeitsgänge und Maschinen verzichtet. Des Weiteren findet dieser Sachverhalt im Kapitel 3.8 durch die integrative Betrachtung des Arbeitsgangs der Aussaat im Anbauverfahren Beachtung.

3.12.1 Maschinen- und Lohnkosten

Es wird angenommen, dass eine ausreichende Anzahl an Schleppern und Schlepperfahrern zur Verfügung steht und nur die Anzahl der Sämaschinen den limitierenden Faktor bei der Aussaat

darstellt. Deswegen werden für die Maschinenkosten der Schlepper die Kosten pro Betriebsstunde unter Volllast angenommen, während die Maschinenkosten der Sämaschinen nach ihrer tatsächlichen Auslastung bestimmt werden. Die Maschinenkosten pro ha der Schlepper errechnen sich somit aus der Mechanisierung, der sich daraus ergebenden Schlagkraft (h/ha) und den angesetzten Kosten pro Betriebsstunde (€/ha). Für die Lohnkosten werden entsprechend der KTBL-Web-Anwendung "Leistungskostenrechnung Pflanzenbau" (KTBL, 2020b) 21 €/h angesetzt. Die Daten zu den Maschinenkosten werden der KTBL-Web-Anwendung "MaKost - Maschinenkosten und Reparaturkosten" (KTBL, 2020b) entnommen. Bei den Maschinenkosten der Sämaschinen wird zwischen fixen und variablen Kosten unterschieden. Die fixen Kosten bestehen aus den Abschreibungskosten, den Zinskosten sowie den Kosten zur Unterbringung. Die variablen Kosten setzen sich aus den Kosten der Betriebsmittel und den Reparaturkosten zusammen. Während die variablen Kosten (€/ha) direkt aus der KTBL-Web-Anwendung (KTBL, 2022) übernommen werden können, müssen die fixen Kosten entsprechend der Anzahl der Maschinen pro 1000 ha beziehungsweise nach der jeweiligen Auslastung (ha Einsatz pro Maschine) berechnet werden. Abschreibungen entsprechen der Wertminderung von Anlageobjekten wie Maschinen, welche auf die Nutzungsdauer verteilt wird. Die Wertminderung setzt sich aus einem zeitabhängigen Wertverlust durch technischen Fortschritt und Überalterung und dem leistungsabhängigen Werteverlust durch den nutzungsbedingten Verschleiß zusammen. Der Wertverlust wird durch die Unterscheidung von leistungs- und zeitabhängiger Abschreibung unterschiedlichen Verrechnungseinheiten zugeordnet. Dabei wird so lange die zeitabhängige Abschreibung gewählt, wie das technische Nutzungspotential (Anzahl der Betriebsstunden) bei einem jährlich festgelegten Nutzungsumfang an Betriebsstunden nicht vor Ende des wirtschaftlichen Nutzungspotentials (buchhalterische Abschreibungsjahre) überschritten wird. Das wirtschaftliche Nutzungspotential ist durch die Abschreibungsregeln der Buchführung festgelegt (Schroers und Krön, 2019, S. 6).

Die notwendigen Abschreibungen für die Maschinenkosten sowie die kalkulatorischen Zinskosten werden mit den Gleichungen 25, 26 und 27 nach Schroers und Krön (2019, S. 6) berechnet:

$$\text{Zeitabhängige Abschreibungen} = \frac{\text{Anschaffungskosten} - \text{Restwert}}{\text{Nutzungspotenzial nach Zeit}} \quad (25)$$

$$\text{Leistungsabhängige Abschreibungen} = \frac{\text{Anschaffungskosten} - \text{Restkosten}}{\text{Nutzungspotenzial nach Einsatzumfang}} \quad (26)$$

Für die Berechnung der leistungsabhängigen Abschreibungen ist über die Gleichung 26 hinaus noch die Multiplikation dieser Gleichung mit dem Einsatzumfang notwendig. Die kalkulatorischen Zinsen in Gleichung 27 sind die Opportunitätskosten für das Kapital, das beispielsweise in einer Maschine oder einem Gebäude gebunden ist und deshalb keiner anderen Verwertung zugeführt werden kann. Die Opportunitätskosten entsprechen dabei dem Betrag, der durch die Anlage des Kapitals in ein alternatives Anlageobjekt erzielt werden könnte.

$$\text{Kalkulatorische Zinsen} = \frac{\text{Anschaffungskosten} + \text{Restkosten}}{2} * \text{Zinssatz} \quad (27)$$

Es wird der aktuell verwendete kalkulatorische Zinssatz der KTBL-Web-Anwendungen (KTBL, 2020b) von 3 % verwendet.

3.12.2 Erträge, aussaatbedingte Ertragsverluste und Saatzeitspannen

Wie im Kapitel 2.3 ersichtlich wird, liegen für die ausgewählten Pflanzen verschiedene Versuchsergebnisse zur Auswirkung des Aussaattermins auf den Ertrag vor. KTBL (2018) stellt indes keine Daten zu Erträgen in Abhängigkeit vom Aussaattermin zur Verfügung. Im Folgenden wird erläutert, von welchen Erträgen hier jeweils ausgegangen wird. Grundsätzlich werden die Versuchsergebnisse auf die von KTBL (2018) angegebenen Erträge für die in Kapitel 3.5 ausgewählten Saatzeitspannen umgerechnet, was im Folgenden genauer erläutert wird.

Winterweizen

Für den Winterweizen werden die Versuchsergebnisse aus Gadegast (Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2014) verwendet, da sie am besten mit den gewählten Saatzeitspannen übereinstimmen und das Optimum im zu erwarteten Zeitbereich liegt. Diese Erträge dienen als Grundlage für die Erträge in Abhängigkeit von den Saatzeitspannen in Hessen und in Norddeutschland. Dazu wird das Ertragsoptimum in Relation zu den anderen Saatzeitpunkten gesetzt und mit dem vom KTBL (2018, S. 267) angenommenen mittleren Ertrag von 80,00 dt/ha verrechnet (siehe Tabelle 31). Demnach beträgt der Ertrag bei sehr frühem Saatzeitpunkt 75,98 dt/ha, bei frühem 78,21 dt/ha, bei optimalem 80,00 dt/ha und bei sehr spätem 79,02 dt/ha.

Tabelle 31: Winterweizenertrag in Abhängigkeit von den Saatzeitspannen (Quelle: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2014, KTBL, 2018, S. 267 und eigene Berechnung)

	sehr früh	früh	optimal	sehr spät
Ertrag LLG (2004) (dt/ha)	85,00	87,50	89,50	88,40
Ertrag LLG (2004) (% vom Optimum)	94,97	97,77	100,00	98,77
Ertrag umgerechnet auf KTBL (dt/ha)	75,98	78,21	80,00	79,02

Sommergerste

Für die Sommergerste werden die Erträge aus dem mehrjährigen Versuch in Bernburg (Boese, 2001) verwendet, da sie direkt mit den ausgewählten Saatzeitspannen übereinstimmen. Da durch das in Kapitel 3.3 gewählte Bodenfeuchtemodell keine nennenswerten FAT im Februar zur Verfügung stehen, entfällt an dieser Stelle die frühe Aussaat. Die Versuchsergebnisse aus Bernburg werden wie beim Winterweizen mit dem angenommenen mittleren Ertrag von KTBL (2018, S. 298) von 60,00 dt/ha in die verschiedenen Saatzeitpunkte unterteilt. Für die optimale Saatzeitspanne werden die Werte von Anfang und Mitte März angenommen und für die späte Saatzeitspanne die Werte von Anfang April. Wie in Tabelle 32 ersichtlich, wird bei optimalem

Saatzeitpunkt ein Ertrag von 60,00 dt/ha und bei spätem Saatzeitpunkt ein Ertrag von 52,03 dt/ha angenommen.

Tabelle 32: Sommergerstenertrag in Abhängigkeit von den Saatzeitspannen (Quelle: Boese, 2001, KTBL, 2018, S. 298 und eigene Berechnung)

	optimal	spät
Ertrag Boese (2001) (dt/ha)	61,13	53,00
Ertrag Boese (2001) (% vom Optimum)	100,00	86,71
Ertrag umgerechnet auf KTBL (dt/ha)	60,00	52,03

Mais

Für den Mais wird sich an den Erträgen aus dem mehrjährigen Versuch in Bernburg orientiert (Boese, 2006). Während die in Kapitel 3.5 ausgewählte Saatzeitspanne bereits am 01.04. beginnt, bestimmt Boese (2006) den Ertrag des frühesten Aussaattermins am 08.04., sodass seine Ergebnisse nicht direkt verwendet werden können. Eine direkte Übernahme würde dazu führen, dass die Erträge der frühen über den Erträgen der optimalen Saatzeitspanne liegen würden. Stattdessen wird für die frühe Saatzeitspanne der Versuchswert vom 08.04., für die optimale Saatzeitspanne der Versuchswert vom 16.04. und für die späte Saatzeitspanne der Versuchswert vom 07.05. verwendet. Die Umrechnung erfolgt anhand des von KTBL (2018, S. 322) angenommenen mittleren Ertrags von 440,00 dt/ha entsprechend den vorherigen Kulturen, wobei hier eine Umrechnung vom Gesamttrockenmasseertrag zum Gesamtertrag an Frischmasse (FM) stattfindet. Für den frühen Saatzeitpunkt ergibt sich demnach ein Ertrag von 437,76 dt/ha, für den optimalen Saatzeitpunkt ein Ertrag von 440,00 dt/ha und für den späten Saatzeitpunkt ein Ertrag von 390,85 dt/ha (siehe Tabelle 33).

Tabelle 33: Maisertrag in Abhängigkeit von den Saatzeitspannen (Quelle: Boese, 2006, KTBL, 2018, S. 322 und eigene Berechnung)

	früh	optimal	spät
Ertrag Boese (2006) (TM dt/ha)	196,00	197,00	175,00
Ertrag Boese (2006) (% vom Optimum)	99,49	100,00	88,83
Ertrag umgerechnet auf KTBL (FM dt/ha)	437,76	440,00	390,85

Zuckerrübe

Grundsätzlich wird sich beim Zuckerrübenenertrag in Abhängigkeit von der Aussaatzeit an Winner (1981, S. 130-131) orientiert, wobei die von ihm gewählten Saattermine nicht gänzlich mit den in dieser Arbeit verwendeten übereinstimmen, sodass einige Anpassungen notwendig sind. So wird für die optimale Saatzeitspanne mit keinem Ertragsverlust gerechnet, für die frühe wird ein Ertragsverlust von 5,00 % und für die späte und sehr späte Aussaat werden die durchschnittlichen Verluste der ersten und der zweiten Aprilhälfte von 10,00 % und 20,00 % nach Winner angenommen. Tabelle 34 zeigt die Erträge der verschiedenen Aussaatzeiträume auf Basis des von KTBL angenommenen mittleren Ertrags von 600,00 dt/ha (2018, S. 403). So ergeben sich Erträge bei frühem Saatzeitpunkt von 570,00 dt/ha, bei optimalem Saatzeitpunkt von 600,00 dt/ha, bei spätem Saatzeitpunkt von 540,00 dt/ha und bei sehr spätem Saatzeitpunkt von 480,00 dt/ha.

Tabelle 34: Zuckerrübenenertrag in Abhängigkeit von den Saatzeitspannen (Winner, 1981, S. 131, KTBL, 2018, S. 403 und eigene Berechnung)

	sehr früh	optimal	spät	sehr spät
Ertrag Winner (1981, S.130-131) (% vom Optimum)	95,00	100,00	90,00	80,00
Ertrag umgerechnet auf KTBL (dt/ha)	570,00	600,00	540,00	480,00

3.12.3 Produktpreise

Für die Preise der Erträge der ausgewählten Kulturen werden die durchschnittlichen Preise der letzten fünf Ausgaben der KTBL-Datensammlung "Betriebsplanung Landwirtschaft" verwendet, welche zweijährig erscheint (siehe Tabelle 35).

Tabelle 35: Produktpreise für Winterweizen, Sommergerste, Maissilage und Zuckerrüben (Eigene Berechnung nach KTBL, 2012, S. 237 und S. 332, KTBL, 2014, S. 232 und S. 328, KTBL, 2016, S. 240 und S. 316, KTBL, 2018, S. 242 und S. 324 und KTBL, 2020a, S. 240)

Preise für Verkaufsprodukte	Durchschnittswert (€/t)
Winterweizen, Backware,	165,60
Sommergerste, Braugerste	184,00
Maissilage	40,20
Zuckerrüben, Zuckerproduktion	35,60

3.12.4 Verluste durch nicht optimale und ungünstige Saatzeitspannen

Die Verluste für die nicht optimalen Saatzeiträume ergeben sich aus den geringeren Erträgen und den Produktpreisen. Für den optimalen Saatzeitraum wird kein Verlust angenommen. Für die ungünstigen Saatzeiträume, die allen anderen Saatzeiträumen vor- oder nachgelagert sein können, liegen keine evidenten Ertragsdaten vor. Stattdessen wird für den ungünstigen Zeitraum der Ertrag bestimmt, welcher zu einem Deckungsbeitrag von Null führt, beziehungsweise der Ertrag, mit welchem die variablen Kosten gerade gedeckt werden können. In der

Kosten-Leistungsrechnung wird der Deckungsbeitrag der Teilkostenrechnung für den kurz- und mittelfristigen Planungshorizont angenommen (KTBL, 2017, S. 1-5), sodass an dieser Stelle postuliert wird, dass ein Landwirt selbst im ungünstigen Fall (ungünstiger Saatzeitpunkt) noch aussät, solange der Deckungsbeitrag durch die ungünstige Aussaat nicht negativ wird. Bei der Berechnung der Kosten bei ungünstiger Aussaat wird die Differenz zwischen den die variablen Kosten deckenden Erträgen und den in Kapitel 3.12.2 angenommenen optimalen Erträgen verwendet. Die Datengrundlage hierzu liefert wiederum die KTBL-Web-Anwendung "Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau" (2020b). Tabelle 36 zeigt den so ermittelten Ertrag (dt/ha) nach Kultur, Anbauverfahren und Mechanisierung, der die variablen Kosten deckt.

Tabelle 36: Variable Kosten deckender Ertrag nach Kultur, Anbauverfahren und Mechanisierung (Quelle: Eigene Berechnung)

Kultur, Anbausystem, Mechanisierung	Variable Kosten deckender Ertrag (dt/ha)
Winterweizen, wendend, klein	44,80
Winterweizen, wendend, groß	42,60
Winterweizen, nichtwendend, klein	44,10
Winterweizen, nichtwendend, groß	41,90
Winterweizen, Direktsaat, klein	43,40
Winterweizen, Direktsaat, groß	43,10
Sommergerste, wendend, klein	30,30
Sommergerste, wendend, groß	28,60
Sommergerste, nichtwendend, klein	28,70
Sommergerste, nichtwendend, groß	26,90
Sommergerste, Direktsaat, klein	27,60
Sommergerste, Direktsaat, groß	27,50
Mais, wendend, klein	291,80
Mais, wendend, groß	214,40
Mais, nichtwendend, klein	288,40
Mais, nichtwendend, groß	210,90
Winterraps, wendend, klein	20,40
Winterraps, wendend, groß	19,40
Winterraps, nichtwendend, klein	20,10
Winterraps, nichtwendend, groß	19,10
Winterraps, Direktsaat, klein	21,40
Winterraps, Direktsaat, groß	20,50
Zuckerrübe, wendend, klein	324,30
Zuckerrübe, wendend, groß	313,50
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	322,90
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	311,10

3.13 Ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren durch Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen

Da die Berechnungen aus den vorangegangenen Kapiteln nur die Aussaatkosten und den Arbeitsgang der Aussaat beinhalten, sind zur Analyse der Anbauverfahren an sich weitere Berechnungen notwendig. Im folgenden Kapitel werden daher die Methoden beschrieben, anhand derer die Anbauverfahren über die Berechnung der kostenminimalen Aussaat aus Kapitel 3.12 hinaus ökonomisch bewertet und verglichen werden können. Dazu erfolgt zunächst eine allgemeine Beschreibung der Methoden, gefolgt von Erläuterungen zu vorgenommenen Anpassungen.

Da die Teilkostenrechnung auch ohne Berücksichtigung von Gemeinkosten alle Kennzahlen für kurz- und mittelfristige Produktionsplanungen liefert (Schroers und Sauer, 2011, S. 10), wird sich in dieser Arbeit auf die Teilkostenrechnung beschränkt, sodass nur unmittelbar zuordenbare Kosten Berücksichtigung finden. Da die KTBL-Web-Anwendung "Verfahrensrechner Pflanze" (KTBL, 2020b) die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen zur Verfügung stellt (DAKfL), erfolgt der Vergleich der Anbauverfahren einer Kultur hier ebenfalls über diese. Aufgrund der Datengrundlage der KTBL-Web-Anwendung "Verfahrensrechner Pflanze" (KTBL, 2020b) und der in Kapitel 3.6.1 festgelegten Annahmen erfolgt die Berechnung der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen für die Kombinationen aus Stationen, Anbaukulturen, Anbauverfahren, Mechanisierung und Feldarbeitstage (FAT) ohne und mit Windauflage. Um die Daten der KTBL-Web-Anwendung "Verfahrensrechner Pflanze" (KTBL, 2020b) auf die in Kapitel 3.9 getroffenen Annahmen anzupassen, werden lediglich die Leistungen durch die Veränderung von Ertragsmenge und Produktpreis angepasst. Außerdem werden bei den fixen Maschinenkosten beim jeweiligen Arbeitsgang zur Aussaat die Werte des kostenminimalen Maschineneinsatzes für 1000 ha verwendet, sodass hier lediglich andere Werte für die Abschreibungen und den Zinssatz verwendet werden. Auch wird auf die Berechnung der Zinskosten für Reparaturkosten verzichtet, da diese einen vernachlässigbaren marginalen Anteil an den Kosten ausmachen, sodass diese anders als bei der KTBL-Web-Anwendung "Verfahrensrechner Pflanze" (KTBL, 2020b) nicht berücksichtigt werden. Die Verwendung der Daten des kostenminimalen Maschineneinsatzes zur Aussaat führen (ohne Windauflage) zu kei-

nen großen Unterschieden im Vergleich mit den Ergebnissen der KTBL-Web-Anwendung "Verfahrensrechner Pflanze", da KTBL (2020b) ebenfalls von einer Volllastung der Maschinen ausgeht. Alle anderen Daten zu den Kosten der KTBL-Web-Anwendung "Verfahrensrechner Pflanze" (KTBL, 2020b) werden für die Berechnung der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen der Anbauverfahren direkt übernommen.

3.14 Risikoanalyse

Eine weitere Frage dieser Arbeit ist, ob eine eher risikoaffine oder eher risikoaverse Einstellung von Landwirten bezüglich des Mechanisierungsgrades von Vorteil ist. Dabei wird auch die Eignung der Planung von Maschinenkapazitäten als Instrument des Risikomanagements für die Verfahrensausgestaltung und Risikotragung untersucht. Die Arbeit zielt darauf ab, Handlungsoptionen zu identifizieren, die aus der Wahl des Mechanisierungsgrads resultieren und zur Optimierung und Kosteneinsparung bei der Aussaat beitragen können. Im folgenden Kapitel erfolgt daher die Beschreibung der Vorgehensweise und der verwendeten Methoden zur Beurteilung verschiedener Risikoalternativen beziehungsweise Mechanisierungsalternativen in Form von Mechanisierungsstufen bei der Aussaat sowohl ohne als auch mit Windauflage.

Die Auswahl der Methoden orientiert sich an der Beurteilung des Erwartungswertes der Kosten sowie der Streuung der Kosten bei verschiedenen Mechanisierungsstufen (Anzahl an Sämaschinen pro 1000 ha) beziehungsweise verschiedener Risikoeinstellungen.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen der Einführung einer Windauflage auf Risiko und Kosten der Aussaat wird sich an den Arbeiten von Lips und Bolli (2007) sowie Lips et al. (2008) orientiert und der kostenminimale Maschineneinsatz für 1000 ha entsprechend Kapitel 3.12 berechnet. Dabei werden die Kosten verschiedener Mechanisierungsstufen ohne und mit Windauflage verglichen.

Als Mechanisierungsstufe dient die Anzahl an Sämaschinen, die bei einem gegebenen Quantil der Feldarbeitstage (FAT) zur kostenminimalen Aussaat führt (vgl. Kapitel 3.4, Gleichungen 16-18 zur Erläuterung der Quantile). Für die gewählten Mechanisierungsalternativen wird eine kumulative Dichtefunktion der Kosten (vgl. Dormann 2013, S. 38 ff.) auf Basis der Verteilungsfunktion gebildet, die anhand der ex-ante festgelegten Maschinenanzahl ermittelt wird. Aus den Aussaatkosten der kumulativen Dichtefunktion wird anschließend der Erwartungswert

sowie als Streuungsmaß die Spannweite zwischen dem 10 %- und dem 90 %-Quantil (im Folgenden D10_90 genannt) als numerisches Integral gebildet (vgl. DORMANN, 2013, S. 38 ff.). Das an dieser Stelle berechnete Streuungsmaß unterscheidet sich vom Streuungsmaß bei der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes (Kapitel 3.12), da hier der Abstand zwischen den Aussaatkosten von $Q(0,10)$ und $Q(0,90)$ der Wetterrealisation bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl berechnet wird.

Bei den Berechnungen der FAT und des kostenminimalen Maschineneinsatzes orientierten sich die vorangegangenen Kapitel an KTBL (2018, S. 253) und verwendeten das 20 %-Quantil. Diese Wahl basiert auf der Annahme eines risikoaversen Mechanisierungsgrads von Landwirten wie er in den Studien von Donaldson (1968), Ramaratnam et al. (1986), Bolli (2007) und Lips et al. (2008) beschrieben wird. Um zu untersuchen, wie sich das Vorhalten von Über- oder Unterkapazitäten auf die durchschnittlichen Kosten und das Kostenrisiko auswirkt, orientieren wir uns bei der Auswahl weiterer Mechanisierungsstufen an Augter (1990). Hierbei wird die Berechnung der FAT auf das 10 %-Quantil, das 20 %-Quantil, das 30 %-Quantil und das 40 %-Quantil beschränkt. Folglich werden die Mechanisierungsstufen gewählt, die in Bezug auf diese Quantile kostenminimal sind.

Das 10 %-Quantil (nachfolgend als $M_{rav} Q(0,10)$ für risikoaverse Mechanisierung bezeichnet) bietet eine erhöhte Wahrscheinlichkeit (Sicherheit), die Saat zum optimalen Zeitpunkt ausführen zu können, da die Maschinenausstattung an den geringeren FAT orientiert wurde, die mit einer 90%igen Wahrscheinlichkeit (dem Komplement des Quantils) nicht unterschritten werden. Das 20 %-Quantil (nachfolgend als $M_{mrav} Q(0,20)$ für mittlere risikoaverse Mechanisierung bezeichnet) bietet ebenfalls eine erhöhte Sicherheit der Saat an, bei welcher die unterstellten Feldarbeitstage mit 80 % Wahrscheinlichkeit erreicht werden. Das 30 %-Quantil (nachfolgend als $M_{mraf} Q(0,30)$ für mittlere risikoaffine Mechanisierung bezeichnet) bietet ein höheres Risiko der Saat an, bei welcher die unterstellten Feldarbeitstage nur mit 70 % Wahrscheinlichkeit erreicht werden. Die Orientierung am 40 %-Quantil (nachfolgend als $M_{raf} Q(0,40)$ für risikoaffine Mechanisierung bezeichnet) stellt für die Aussaat ein noch höheres Risiko dar, da die Maschinenkapazität an mehr zu erwartenden FAT (FAT mit 60 % Wahrscheinlichkeit) orientiert wurde und die somit geringere Schlagkraft mit höherer Wahrscheinlichkeit zur Aussaat in tatsächlich ungünstige Saatzeiten zwingt. Bei den Mechanisierungsalternativen wird also unterstellt, dass mit steigender Größe des Quantils die Maschinenanzahl

zur Aussaat abnimmt und somit die Risikobereitschaft durch Ertragsausfall durch Aussaat in nicht optimalen Saatzeitspannen zunimmt.

Die Berechnung der kumulativen Dichtefunktion, des Erwartungswertes und des Streuungsmaßes der Mechanisierungsalternativen erfolgt in folgenden vier Schritten:

Schritt 1: Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes für eine bestimmte Mechanisierungsstufe

Die Berechnung der Anzahl der Maschinen bei kostenminimalem Maschineneinsatz zur Aussaat ohne und mit Windauflage für 1000 ha erfolgt entsprechend Kapitel 3.12 für die Mechanisierungsstufen $M_{rav} Q(0,10)$, $M_{mrav} Q(0,20)$, $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$. Abweichend von Kapitel 3.12 werden hier die Aussaatkosten exklusive Schlepper- und Lohnkosten berechnet, da diese zu keinen Unterschieden in den Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen führen (die gesamt zu bearbeitende Fläche ist ja konstant). Die Zahl der kostenminimalen Maschinen für jede Mechanisierungsstufe ist Basis für Schritt 2.

Schritt 2: Berechnung der Kosten der Aussaat aller Quantile ex-ante festgelegter Maschinenanzahl

Anschließend wird die für die Mechanisierungsstufen $M_{rav} Q(0,10)$, $M_{mrav} Q(0,20)$, $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$ angenommene kostenminimale Maschinenanzahl, in Abhängigkeit der tatsächlich möglichen FAT auftretenden Aussaatkosten berechnet. Stellvertretend zur Charakterisierung der gesamten Verteilungsfunktion der FAT werden dabei die 21 Quantilswerte vom 0 %-Quantil bis zum 100 %-Quantil gestuft in 5 %-Schritten berechnet. Die Methodik der Kostenberechnung entspricht der von Schritt 1, wobei die Zahl der Maschinen hier bereits feststeht, und die Zahl der Feldarbeitstage variiert wird. Es ergibt sich eine kumulative Dichtefunktion (vgl. Dormann 2013, S.38 ff) der Aussaatkosten.

Es folgt ein eingehendes Beispiel zum Verständnis:

- Die kostenminimale Maschinenanzahl zur Aussaat für Winterweizen im wendenden Anbauverfahren in Gießen für das 20 %-Quantil der FAT betrage sieben.

- Berechnung der Kosten der Aussaat für das 0 %-Quantil, das 5 %-Quantil, das 10 %-Quantil, das 15 %-Quantil, das 20 %-Quantil, das 25 %-Quantil, das 30 %-Quantil, das 35 %-Quantil, das 40 %-Quantil, das 45 %-Quantil, das 50 %-Quantil, das 55 %-Quantil, das 60 %-Quantil, das 65 %-Quantil, das 70 %-Quantil, das 75 %-Quantil, das 80 %-Quantil, das 85 %-Quantil, das 90 %-Quantil, das 95 %-Quantil und das 100 %-Quantil für jeweils sieben Maschinen.

Schritt 3: Berechnung der zu erwartenden Kosten bei gegebener Maschinenanzahl

Zur weiteren Charakterisierung der Verteilungsfunktion der Aussaatkosten wird sowohl ein Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$) als auch ein Streuungsmaß berechnet. Aufgrund der diskreten Approximation des Integrals werden die beiden Randquantile 0 %-Quantil und 100 %-Quantil dabei nur mit halbem Gewicht in die Erwartungswertberechnung einbezogen. Dies schwächt zudem den Effekt der meist sehr hoch ausfallenden Kosten des 100 %-Quantils etwas ab (hier sind meist nur sehr geringe oder keine FAT vorhanden). Als Streuungsmaß (D_{10_90}) wird der Abstand zwischen den Aussaatkosten des 10 %-Quantils und des 90 %-Quantils der FAT verwendet.

Schritt 4: Vergleich der kostengünstigsten Risikobereitschaft mit und ohne Windauflage

Im letzten Schritt erfolgt der Vergleich hauptsächlich über den der Erwartungswerte der Kosten, aber auch durch die Spannweite der Aussaatkosten der verschiedenen Mechanisierungsstufe, jeweils ohne und mit Windrestriktion. Damit können die Kostenunterschiede bei den verschiedenen Mechanisierungsstufen und den damit einhergehenden Mechanisierungsalternativen quantifiziert werden sowie der Einfluss der Windauflage auf die Mechanisierungstypen untersucht werden.

3.15 Hypothesen

An dieser Stelle werden Hypothesen zu den sich aus den vorangegangenen Kapiteln gestellten und sich ergebenden Forschungsfragen abgeleitet und formuliert:

Hypothese 1: Durch die Windauflage sinkt die Anzahl der verfügbaren Feldarbeitstage (FAT) zur Aussaat, insbesondere in windreichen Stationen.

Hypothese 2: Die Windauflage führt zu höheren Aussaatkosten, insbesondere in windreichen Stationen.

Hypothese 3: Mit Windauflage ist die Anzahl der Sämaschinen beim kostenminimalen Maschineneinsatz zur Aussaat höher als ohne Windauflage.

Hypothese 4: Mit Windauflage sind die Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste höher als ohne Windauflage.

Hypothese 5: Risikoaversere Mechanisierungsalternativen führen bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl zu einem höheren Erwartungswert der Aussaatkosten (Überkapazitäten).

Hypothese 6: Die Windauflage begünstigt risikoaversere Mechanisierungsalternativen bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Überkapazitäten).

Hypothese 7: Die Windauflage führt zu einem erhöhten Streuungsmaß der Aussaatkosten.

Hypothese 8: Risikoaversere Mechanisierung führt zu einem geringeren Streuungsmaß der Aussaatkosten.

Die aufgestellten Hypothesen werden in Kapitel 5 anhand der Ergebnisse und der verwendeten Methoden überprüft und kritisch diskutiert.

4 Ergebnisse

Der erste Abschnitt des folgenden Kapitels 4.1 zeigt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit und die Windgeschwindigkeit > 5 m/s der einzelnen Stationen im Jahresverlauf. In Kapitel 4.2 wird diesbezüglich insbesondere auf die drei ausgewählten Stationen eingegangen. Für die Ergebnisse der gesamten Feldarbeitstage (FAT) mit und ohne Windauflage in Kapitel 4.3 wird auf den Anhang verwiesen. Danach folgt in Kapitel 4.4 die Darstellung der Ergebnisse zu den FAT ohne und mit Windauflage nach Aussaatzeitspannen und Kulturen. Auch für die Ergebnisse zu den möglichen Umfängen der Anbauverfahren und Kulturen für den Arbeitsgang der Aussaat wird in Kapitel 4.5 auf den Anhang verwiesen. In Kapitel 4.6 erfolgt die ausführliche Darstellung eines Arbeitstableaus. Kapitel 4.7 zeigt die Ergebnisse zu der Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge und den Verfahrensumfängen und Kapitel 4.8 zeigt abschließend einen Vergleich und die Bewertung der Anbauverfahren hinsichtlich des möglichen Umfangs und der Aussaat. Kapitel 4.9 zeigt die Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz für die Mechanisierung (Anzahl an Sämaschinen) anhand des 20 %-Quantils und Kapitel 4.10 zeigt die Ergebnisse der Risikoanalyse der verschiedenen Mechanisierungsvarianten.

Zum besseren Verständnis der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Ergebnisse der Kapitel 4.5 bis 4.8 auf der Annahme einer begrenzten Anzahl an Arbeitskräften beruhen (siehe Kapitel 3.6), während für die Ergebnisse der Kapitel 4.9 und 4.10 von einer unbegrenzten Anzahl an Arbeitskräften ausgegangen wird (siehe Kapitel 3.12).

4.1 Die Windverhältnisse der Stationen

Folgendes Kapitel gibt einen Überblick über die Windverhältnisse der Stationen. Tabelle 37 zeigt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit (W) der einzelnen Stationen, die Standardabweichung (SD) und die Wahrscheinlichkeit ($P(W \geq 5 \text{ m/s})$), dass die durchschnittliche Windgeschwindigkeit an einem beliebigen Tag größer als 5 m/s ist.

Für die Stationen Sankt Peter-Ording, Fehmarn und Boltenhagen liegt W über der Grenze der Windauflage von 5 m/s. Auch die Wahrscheinlichkeit, dass an einem Tag W die Grenze der Windauflage übersteigt, liegt bei diesen Stationen über 50 %. Auch SD ist bei diesen windrei-

chen Stationen hoch. In Teterow, Lüsewitz, Barth und Dörnick liegt W unterhalb der Windauf-
lage. Durch die hohen Werte für SD nimmt P mit 39 % bis 20 % dennoch signifikante Werte
an. Die Stationen Gießen, Bad Hersfeld und Geisenheim haben die niedrigsten Werte für W
und SD. Dies spiegelt sich auch in den geringen Werten für P, welche von 8 % bis 4 % reichen,
wider.

Tabelle 37: Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten und Windgeschwindigkeiten über 5 m/s
(Quelle: Eigene Berechnung)

Station	W (m/s)	SD (W)	P (W ≥ 5 m/s)
Sankt Peter-Ording	6,38	2,82	0,61
Fehmarn	6,16	2,68	0,61
Boltenhagen	5,61	2,36	0,54
Teterow	4,67	2,26	0,39
Lüsewitz	4,07	1,85	0,27
Barth	4,05	2,16	0,29
Dörnick	3,69	1,68	0,20
Gießen	2,81	1,36	0,08
Bad Hersfeld	2,57	1,37	0,07
Geisenheim	2,46	1,16	0,04

W = durchschnittliche Windgeschwindigkeit

SD = Standardabweichung

P = Wahrscheinlichkeit

4.2 Die Windverhältnisse in Gießen, Teterow und Boltenhagen

In diesem Kapitel werden weiterführende Ergebnisse zu den Windverhältnissen der ausführ-
lich untersuchten Stationen Gießen, Teterow und Boltenhagen vorgestellt.

Abbildung 5 zeigt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit (W) als Linien mit Datenpunkten
und in Tabellenform im Jahresverlauf für Gießen, Teterow und Boltenhagen. In Boltenhagen
liegt W nur in den Monaten Juni, Juli und August unter der Grenze der Windauf-
lage. In Teterow liegen die Monate von April bis August unterhalb der Grenze der Windauf-
lage und in Gießen liegen alle Monate deutlich darunter. Bei allen Stationen zeigt sich, dass W im Januar
seinen Maximalwert erreicht, von dem aus W kontinuierlich bis zu seinem Minimalwert im

August absinkt. Von August an steigt W wieder kontinuierlich bis zum Januar hin an. In Gießen steigt W von Februar auf März leicht an und bleibt von August auf September recht stabil.

Aus Tabelle 37 und dem Verlauf der Linien in Abbildung 5 wird ersichtlich, dass Stationen mit hohem W ebenfalls zu höheren Standardabweichungen von W sowie zu größeren Spannbreiten in den Ergebnissen insgesamt führen. So zeigt sich der Kurvenverlauf der Linien mit abnehmender W deutlich weniger ausgeprägt als bei Stationen mit hohem W. Insgesamt zeigt sich, dass W deutlich vom Jahresverlauf beeinflusst wird und bei den abgebildeten Stationen grundsätzlich einen ähnlichen Jahresverlauf aufweist.

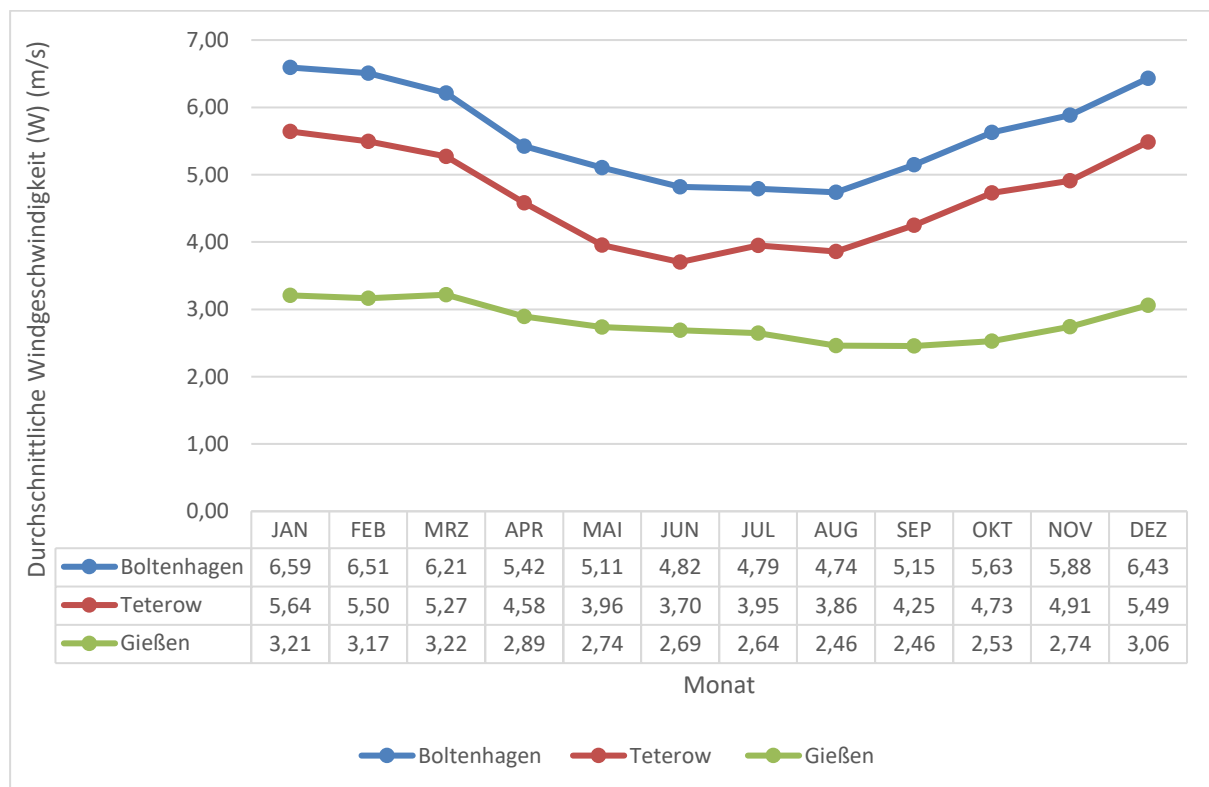


Abbildung 5: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit (W) (m/s) in Gießen, Teterow und Boltenhagen im Jahresverlauf (Quelle: Eigene Berechnung)

Abbildung 6 dient zur Übersicht und Einordnung von W über den Beobachtungszeitraum und zeigt W als Linien mit Datenpunkten zu den einzelnen Jahren. In der visualisierten Form zeigt sich, dass W im Beobachtungszeitraum relativ stabil verläuft, wobei in Boltenhagen und in Teterow ein Trend zu einem sinkenden W über die Jahre und in Gießen ein Trend zu einem

steigenden W über die Jahre erkennbar ist. Auf einen Exkurs zur Trendberechnung und zu Bestimmtheitsmaßen wird an dieser Stelle ausdrücklich verzichtet, da klimatische Veränderungen nicht Teil dieser Arbeit sind.

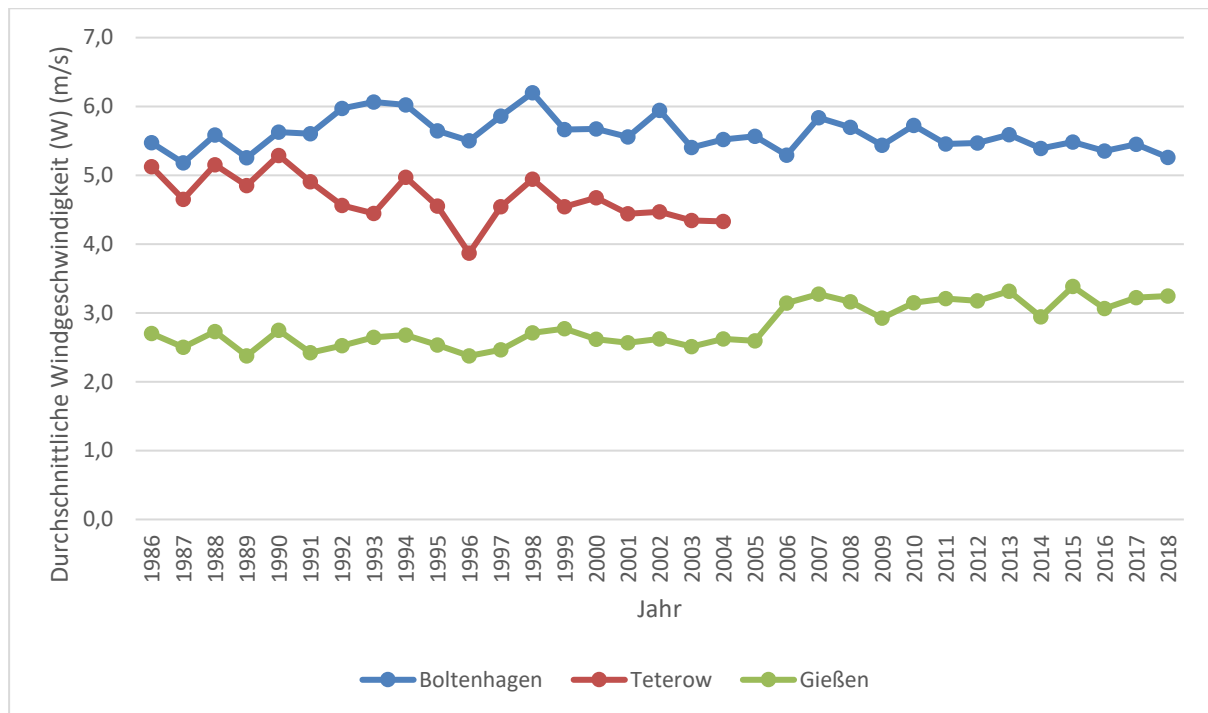


Abbildung 6: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit (W) (m/s) in Boltenhagen, Teterow und Gießen über die Jahre (Quelle: Eigene Berechnung)

4.3 Feldarbeitstage (FAT) und FAT mit Windauflage

Da die reinen Ergebnisse für die FAT nicht den genuinen Forschungsfragen dieser Arbeit dienen, sondern vielmehr ein Zwischenergebnis darstellen, wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse verzichtet und auf den Anhang (siehe Tabelle 109 bis Tabelle 118) verwiesen. Wie die Ergebnisse aus dem Anhang zeigen, stimmen sie mit den Planungsgrundlagen der FAT des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (2018, S. 258-259) überein. Für die ausgewählten norddeutschen Stationen stehen insbesondere im Frühjahr und Herbst für die FAT mit Anspruchsstufe 2 (AS 2) nur sehr geringe bis keine Kapazitäten an Feldarbeitstagen zur Verfügung, was im nächsten Kapitel deutlich wird.

4.4 Feldarbeitstage (FAT) ohne und mit Windauflage nach Aussaatzeitspannen der Kulturen

Da für die Ausführung des Arbeitsganges der Aussaat FAT der AS2 notwendig sind, zeigt folgendes Kapitel die FAT der Aussaatzeitspannen der verschiedenen Kulturen und Stationen für die AS2 für leichte Böden ohne und mit Windauflage sowie den prozentualen Verlust an FAT durch die Windauflage je Saatzeitspanne und insgesamt. In den folgenden Tabellen gibt FAT_max die maximal mögliche Anzahl an FAT an, welches der Länge der jeweiligen Saatzeitspannen entspricht. FAT2 ist die Anzahl der FAT der AS2, die bei leichten Bodenverhältnissen tatsächlich zur Verfügung stehen und FAT2_W entspricht der Anzahl an FAT2 abzüglich der Tage, die durch die Windauflage entfallen.

4.4.1 Feldarbeitstage zur Aussaat von Winterweizen

Da beim Winterweizen eine Differenzierung zwischen den norddeutschen und den hessischen Stationen stattfindet, ist die Aussaatzeitspanne der hessischen Stationen mit insgesamt 55 Tagen um 2 Tage länger als die der norddeutschen Stationen.

Wie in Tabelle 38 ersichtlich wird, stehen in Sankt Peter-Ording mit insgesamt 13 FAT für alle Saatzeitspannen die geringsten Kapazitäten für die Aussaat von Winterweizen zur Verfügung. Sankt Peter-Ording ist ebenfalls die einzige Station, in dem in einer Saatzeitspanne (spät) keine FAT zur Verfügung stehen. Die beiden anderen küstennahen Stationen Fehmarn und Boltenhagen kommen bei den FAT zur Aussaat mit jeweils 32 FAT auf ähnliche Werte wie die norddeutschen Stationen Teterow und Lüsewitz mit jeweils 34 und 35 FAT. In den norddeutschen Stationen Dörnick und Barth stehen hingegen insgesamt nur 24 und 28 FAT zur Verfügung. Die hessischen Stationen Gießen, Bad Hersfeld und Geisenheim bieten mit einer Kapazität von insgesamt jeweils 45, 40 und 47 FAT die quantitativ besten Möglichkeiten zur Winterweizenaussaat. In den hessischen Stationen sowie im norddeutschen Lüsewitz und dem küstennahen Fehmarn stehen zur sehr frühen Saatzeitspanne die meisten der maximal möglichen FAT auch tatsächlich zur Verfügung, wobei dies bei Fehmarn auch in der frühen Saatzeitspanne der Fall ist. Bei den Stationen Sankt Peter-Ording, Barth und Dörnick sind zur frühen Saatzeitspanne die meisten der maximal möglichen FAT auch tatsächlich vorhanden, während dies bei Boltenhagen zur optimalen Saatzeitspanne der Fall ist. Gemessen an den maximal möglichen FAT

stehen bei den meisten Stationen in der späten Saatzeitspanne die wenigsten FAT tatsächlich zur Verfügung. Ausnahmen bilden hierbei Sankt Peter-Ording und Teterow, wo dies bei der sehr frühen Saatzeitspanne der Fall ist sowie in Lüsewitz, wo dies für die optimale Saatzeitspanne zutrifft.

Mit einem Gesamtverlust von 75,00 % verliert Fehmarn durch die Windauflage die meisten FAT, gefolgt von Boltenhagen mit einem Gesamtverlust von 62,50 % und Sankt Peter-Ording mit einem Gesamtverlust von 61,54 %. Bei den norddeutschen Stationen ergibt sich eine Spannbreite der Gesamtverluste von 55,88 % in Teterow bis zu 12,50 % in Dörnick. In Lüsewitz liegen die Verluste innerhalb der Saatzeitspannen mit 20,00 % bis 62,50 % über denen in Barth, wo sie bis zu 33,33 % betragen. In den hessischen Stationen treten mit Ausnahme von Gießen in der frühen Saatzeitspanne nur geringe Verluste im einstelligen Prozentbereich auf, wobei die Windauflage in Geisenheim zu gar keinen Verlusten führt. Auch mit Windauflage stehen die meisten FAT beim Großteil der Stationen zur späten Saatzeitspanne zur Verfügung. Bei den beiden küstennahen Stationen Sankt Peter-Ording und Boltenhagen sowie in Gießen stehen die meisten FAT in der frühen und der sehr frühen Saatzeitspanne zur Verfügung. In Bad Hersfeld reduzieren sich durch die Windauflage nur die FAT der optimalen Saatzeitspanne.

Tabelle 38: Feldarbeitstage der Stationen zur Aussaat von Winterweizen für leichte Böden ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeitspanne	FAT_max	FAT2	FAT2_W	Verlust (%)	Gesamtverlust (%)
Sankt Peter-Ording	sehr früh	11	2	1	-50,00	-61,54
	früh	11	5	1	-80,00	
	optimal	19	6	3	-50,00	
	spät	12	0	0	0,00	
Fehmarn	sehr früh	11	8	2	-75,00	-75,00
	früh	11	8	2	-75,00	
	optimal	19	12	4	-66,67	
	spät	12	4	0	-100,00	
Boltenhagen	sehr früh	11	7	2	-71,43	-62,50
	früh	11	7	3	-57,14	
	optimal	19	13	5	-61,54	
	spät	12	5	2	-60,00	
Teterow	sehr früh	11	6	3	-50,00	-55,88
	früh	11	7	4	-42,86	
	optimal	19	14	7	-50,00	
	spät	12	7	1	-85,71	
Lüsewitz	sehr früh	11	9	6	-33,33	-34,29
	früh	11	8	6	-25,00	
	optimal	19	10	8	-20,00	
	spät	12	8	3	-62,50	
Barth	sehr früh	11	6	6	0,00	-25,00
	früh	11	7	5	-28,57	
	optimal	19	12	8	-33,33	
	spät	12	3	2	-33,33	
Dörnick	sehr früh	11	6	4	-33,33	-12,50
	früh	11	7	7	0,00	
	optimal	19	9	9	0,00	
	spät	12	2	1	-50,00	
Gießen	sehr früh	9	8	7	-12,50	-6,67
	früh	15	13	12	-7,69	
	optimal	20	16	15	-6,25	
	spät	11	8	8	0,00	
Bad Hersfeld	sehr früh	9	7	7	0,00	-2,50
	früh	15	11	11	0,00	
	optimal	20	15	14	-6,67	
	spät	11	7	7	0,00	
Geisenheim	sehr früh	9	8	8	0,00	0,00
	früh	15	13	13	0,00	
	optimal	20	17	17	0,00	
	spät	11	9	9	0,00	

FAT_max = maximale Feldarbeitstage je Saatzeitspanne

FAT2 = Feldarbeitstage der Anspruchsstufe 2

FAT2_W = Feldarbeitstage der Anspruchsstufe 2 mit Windauflage

4.4.2 Feldarbeitstage zur Aussaat von Sommergerste

Wie in Tabelle 39 ersichtlich wird, stehen für die frühe Aussaat der Sommergerste im Februar nur in Geisenheim FAT zur Verfügung. Die geringsten Kapazitäten insgesamt stehen in den küstennahen Stationen Sankt Peter-Ording, Fehmarn und Boltenhagen mit jeweils 11, 9 und 11 FAT zur Verfügung. Daran schließen sich die norddeutschen Stationen Lüsewitz mit insgesamt 17 FAT, Barth mit insgesamt 16 FAT, Dörnick mit insgesamt 15 FAT und Teterow mit insgesamt 14 FAT an. Die hessischen Stationen weisen, mit Ausnahme von Bad Hersfeld, eine wesentlich höhere Anzahl an FAT auf. Dabei stehen in Geisenheim mit insgesamt 29 FAT die meisten FAT für die Aussaat von Sommergerste zur Verfügung, gefolgt von Gießen mit 22 FAT. In Bad Hersfeld stehen insgesamt 17 FAT zur Verfügung.

Die Windauflage führt mit Ausnahme von Sankt Peter-Ording, Teterow und Geisenheim bei der späten Saatzeitspanne zu deutlicheren Verlusten als bei der optimalen Saatzeitspanne. Komplettverluste entstehen in der frühen Saatzeitspanne in Geisenheim und der späten Saatzeitspanne in Fehmarn. Auch hier sind die küstennahen Stationen gefolgt von den norddeutschen Stationen am stärksten von der Windauflage betroffen, während die Verluste in den hessischen Stationen, mit Ausnahme der frühen Saatzeitspanne in Geisenheim, mit 9,52 % bis 20,00 % eher moderat ausfallen.

Tabelle 39: Feldarbeitstage der Stationen zur Aussaat von Sommergerste für leichte Böden ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeitspanne	FAT_max	FAT2	FAT2_W	Verlust (%)	Gesamtverlust (%)
Sankt Peter-Ording	früh	5	0	0	0,00	-63,64
	optimal	31	9	3	-66,67	
	spät	7	2	1	-50,00	
Fehmarn	früh	5	0	0	0,00	-66,67
	optimal	31	7	3	-57,14	
	spät	7	2	0	-100,00	
Boltenhagen	früh	5	0	0	0,00	-63,64
	optimal	31	7	3	-57,14	
	spät	7	4	1	-75,00	
Teterow	früh	5	0	0	0,00	-57,14
	optimal	31	10	4	-60,00	
	spät	7	4	2	-50,00	
Lüsewitz	früh	5	0	0	0,00	-17,65
	optimal	31	12	11	-8,33	
	spät	7	5	3	-40,00	
Barth	früh	5	0	0	0,00	-43,75
	optimal	31	12	7	-41,67	
	spät	7	4	2	-50,00	
Dörnick	früh	5	0	0	0,00	-15,38
	optimal	31	9	8	-11,11	
	spät	7	4	3	-25,00	
Gießen	früh	5	0	0	0,00	-9,09
	optimal	31	17	15	-11,76	
	spät	7	5	5	0,00	
Bad Hersfeld	früh	5	0	0	0,00	-5,88
	optimal	31	12	12	0,00	
	spät	7	5	4	-20,00	
Geisenheim	früh	5	1	0	-100,00	-13,79
	optimal	31	21	19	-9,52	
	spät	7	7	6	-14,29	

FAT_max = maximale Feldarbeitstage je Saatzeitspanne

FAT2 = Feldarbeitstage der Anspruchsstufe 2

FAT2_W = Feldarbeitstage der Anspruchsstufe 2 mit Windauflage

4.4.3 Feldarbeitstage zur Aussaat von Mais

Aus Tabelle 40 wird ersichtlich, dass die nördlichen und küstennahen Stationen wie Sankt Peter-Ording, Fehmarn und Boltenhagen mit Ausnahme von Barth eine vergleichsweise geringere Anzahl an FAT als die übrigen nördlichen Stationen wie Teterow, Lüsewitz und Dörnick

aufweisen, wohingegen in den hessischen Stationen Gießen, Bad Hersfeld und Geisenheim vergleichsweise viele FAT vorhanden sind. In den norddeutschen Stationen Teterow, Dörnick, Barth und Lüsewitz sind insgesamt 33, 33, 34 und 38 FAT vorhanden. In den hessischen Stationen Gießen und Bad Hersfeld stehen insgesamt je 33 und 35 FAT zur Aussaat zur Verfügung. Die meisten FAT mit insgesamt 40 FAT stehen in Geisenheim bereit. Bei den meisten Stationen stehen sowohl zur späten als auch zur optimalen Saatzeitspanne die meisten FAT zur Verfügung. Die geringste Anzahl an FAT steht bei allen Stationen zur frühen Saatzeitspanne zur Verfügung.

Die höchsten Verluste durch die Windauflage entstehen bei den Stationen Sankt Peter-Ording, Fehmarn und Boltenhagen, wo sich die FAT um 50,00 % bis 71,43 % reduzieren. Auch bei den Stationen Teterow und Lüsewitz entfallen teilweise noch über die Hälfte der FAT in einzelnen Saatzeitspannen. Daran schließen sich die Stationen Barth und Dörnick mit Verlusten von 23,08 % bis 45,45 % an. Die Stationen Gießen, Bad Hersfeld und Geisenheim erleiden bei Einführung der Windauflage nur geringe Verluste von bis zu 9,09 %. Die Betrachtung der verschiedenen Saatzeitspannen zeigt, dass alle Saatzeitspannen gleichermaßen von der Windauflage betroffen sind.

Tabelle 40: Feldarbeitstage der Stationen zur Aussaat von Mais für leichte Böden ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeitspanne	FAT_max	FAT2	FAT2_W	Verlust (%)	Gesamtverlust (%)
Sankt Peter-Ording	früh	15	7	2	-71,43	-66,67
	optimal	15	10	4	-60,00	
	spät	15	10	3	-70,00	
Fehmarn	früh	15	6	3	-50,00	-58,33
	optimal	15	10	4	-60,00	
	spät	15	8	3	-62,50	
Boltenhagen	früh	15	8	3	-62,50	-55,56
	optimal	15	9	4	-55,56	
	spät	15	10	5	-50,00	
Teterow	früh	15	10	5	-50,00	-48,48
	optimal	15	13	6	-53,85	
	spät	15	10	6	-40,00	
Lüsewitz	früh	15	12	6	-50,00	-36,84
	optimal	15	13	9	-30,77	
	spät	15	13	9	-30,77	
Barth	früh	15	11	6	-45,45	-38,24
	optimal	15	12	7	-41,67	
	spät	15	11	8	-27,27	
Dörnick	früh	15	8	6	-25,00	-27,27
	optimal	15	12	8	-33,33	
	spät	15	13	10	-23,08	
Gießen	früh	15	11	10	-9,09	-6,06
	optimal	15	11	11	0,00	
	spät	15	11	10	-9,09	
Bad Hersfeld	früh	15	11	11	0,00	-2,86
	optimal	15	12	11	-8,33	
	spät	15	12	12	0,00	
Geisenheim	früh	15	13	13	0,00	-2,50
	optimal	15	13	13	0,00	
	spät	15	14	13	-7,14	

FAT_max = maximale Feldarbeitstage je Saatzeitspanne

FAT2 = Feldarbeitstage der Anspruchsstufe 2

FAT2_W = Feldarbeitstage der Anspruchsstufe 2 mit Windauflage

4.4.4 Feldarbeitstage zur Aussaat von Zuckerrüben

Die Ergebnisse zu den FAT zur Aussaat von Zuckerrüben in Tabelle 41 zeigen, dass in den küstennahen Stationen gemessen an den maximal möglichen FAT die wenigsten FAT tatsächlich zur Verfügung stehen. Für die norddeutschen und die hessischen Stationen zeigt sich bei der

Zuckerrübe abweichend von den vorangegangenen Kulturen hier kein einheitliches Bild. In Sankt Peter-Ording, Fehmarn und Boltenhagen stehen mit jeweils 18, 18 und 23 FAT die geringsten Kapazitäten insgesamt zur Verfügung. Darauf folgen Teterow und Dörnick mit 26 und 27 FAT sowie Barth und Bad Hersfeld mit jeweils 28 FAT. Lüsewitz verfügt mit insgesamt 34 FAT über mehr Kapazitäten zur Aussaat als Gießen, wo 33 FAT zur Verfügung stehen. Die meisten FAT zur Aussaat stehen wie bei den vorangegangenen Kulturen auch hier in Geisenheim zur Verfügung. Bei allen Stationen stehen bei der späten oder sehr späten Saatzeitspannen in Relation zu den maximal möglichen FAT auch die meisten FAT tatsächlich zur Verfügung. Die wenigsten FAT gemessen an den maximal möglichen FAT stehen mit Ausnahme von Lüsewitz (hier optimale) in der frühen Saatzeitspanne zur Verfügung.

Die größten Verluste durch die Windauflage treten insgesamt in den küstennahen Stationen Sankt Peter-Ording mit 66,67 %, Boltenhagen mit 65,22 % und Fehmarn mit 61,11 % auf. Danach folgen die norddeutschen Stationen Teterow, Barth und Lüsewitz mit Verlusten von 53,85 %, 39,29 % und 38,24 %. In Dörnick fallen die Verluste mit insgesamt 18,52 % am geringsten unter den norddeutschen Stationen aus. In den hessischen Stationen ergibt sich in Gießen mit 12,12 % ein zweistelliger Gesamtverlust, während dieser in Geisenheim nur 5,56 % und in Bad Hersfeld nur 3,57 % beträgt. Die größten Verluste entstehen bei dem Gros der Stationen in der frühen Saatzeitspanne. So treten hier in den küstennahen Stationen Fehmarn, Boltenhagen und Teterow Totalverluste auf. Die Ausnahme bilden Sankt Peter-Ording, Dörnick und Gießen sowie Bad Hersfeld, bei welchen die größten Verluste in der frühen beziehungsweise der optimalen Saatzeitspanne auftreten. In der optimalen und der späten Saatzeitspanne treten bei der Mehrheit der Stationen die geringsten Verluste durch die Windauflage ein.

Tabelle 41: Feldarbeitstage der Stationen zur Aussaat von Zuckerrübe für leichte Böden ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeitspanne	FAT_max	FAT2	FAT2_W	Verlust (%)	Gesamtverluste (%)
Sankt Peter-Ording	früh	11	2	1	-50,00	-66,67
	optimal	16	6	2	-66,67	
	spät	15	8	3	-62,50	
	sehr spät	5	2	0	-100,00	
Fehmarn	früh	11	2	0	-100,00	-61,11
	optimal	16	6	2	-66,67	
	spät	15	8	4	-50,00	
	sehr spät	5	2	1	-50,00	
Boltenhagen	früh	11	2	0	-100,00	-65,22
	optimal	16	8	3	-62,50	
	spät	15	11	4	-63,64	
	sehr spät	5	2	1	-50,00	
Teterow	früh	11	1	0	-100,00	-53,85
	optimal	16	8	5	-37,50	
	spät	15	12	5	-58,33	
	sehr spät	5	5	2	-60,00	
Lüsewitz	früh	11	7	4	-42,86	-38,24
	optimal	16	10	6	-40,00	
	spät	15	12	8	-33,33	
	sehr spät	5	5	3	-40,00	
Barth	früh	11	3	1	-66,67	-39,29
	optimal	16	11	6	-45,45	
	spät	15	11	8	-27,27	
	sehr spät	5	3	2	-33,33	
Dörnick	früh	11	5	3	-40,00	-18,52
	optimal	16	8	8	0,00	
	spät	15	10	9	-10,00	
	sehr spät	5	4	2	-50,00	
Gießen	früh	11	6	5	-16,67	-12,12
	optimal	16	11	10	-9,09	
	spät	15	12	11	-8,33	
	sehr spät	5	4	3	-25,00	
Bad Hersfeld	früh	11	3	3	0,00	-3,57
	optimal	16	11	10	-9,09	
	spät	15	11	11	0,00	
	sehr spät	5	3	3	0,00	
Geisenheim	früh	11	6	5	-16,67	-5,56
	optimal	16	13	12	-7,69	
	spät	15	13	13	0,00	
	sehr spät	5	4	4	0,00	

FAT_max = maximale Feldarbeitstage je Saatzeitspanne

FAT2 = Feldarbeitstage der Anspruchsstufe 2

FAT2_W = Feldarbeitstage der Anspruchsstufe 2 mit Windauflage

4.5 Mögliche Umfänge für den Arbeitsgang der Aussaat

Die Ergebnisse zu den maximal möglichen Umfängen der Aussaat (auch Aussaatmenge) beruhen auf der einschränkenden Annahme einer Arbeitskraft (siehe Kapitel 3.6). Sie stellen lediglich eine Erweiterung der Ergebnisse aus Kapitel 4.4 um den Arbeitszeitananspruch und den sich aus diesem und den Feldarbeitstagen (FAT) ergebenden Umfang zur Aussaat dar und gleichen diesen grundsätzlich aus. Das heißt, dass bei den Stationen und Anbaukulturen mit hohen Windgeschwindigkeiten und daraus resultierenden hohen Verlusten an FAT durch die Windauflage sowie den Anbauverfahren mit arbeitsintensiver Aussaat die Aussaatumfänge entsprechend stark abnehmen. Bei den Ergebnissen zeigt sich auch, dass die Verluste an Aussaatumfang durch die Windauflage vor allem dort auftreten, wo auch ohne Windauflage ohnehin nur geringe Aussaatumfänge möglich sind. So liegen die höchsten Verluste beim Aussaatumfang in den Stationen Sankt Peter-Ording, Fehmarn, Boltenhagen und Teterow vor. Darauf folgen die Stationen Lüsewitz, Barth und Dörnick mit moderaten Verlusten. In den Stationen Gießen, Bad Hersfeld und Geisenheim liegen die geringsten Verluste beim Aussaatumfang vor. Bezüglich der Anbauverfahren nehmen die Aussaatumfänge der kleinen Betriebe stärker als die der großen Betriebe ab. Beim Winterweizen und der Sommergerste führt das nichtwendende Anbauverfahren zu den geringsten Aussaatumfängen. Für den kleinen Betrieb gilt für den Aussaatumfang darüber hinaus direkt (Direktsaat) > wendend, während für den großen Betrieb wendend > direkt gilt. Beim Mais und der Zuckerrübe ergeben sich keine Unterschiede zwischen den Anbauverfahren beim Aussaatumfang. Bei der Betrachtung der verschiedenen Anbaukulturen ergeben sich über die Stationen, die Anbauverfahren, die Mechanisierung (kleiner und großer Betrieb) sowie über die Saatzeitspannen hinweg durchschnittliche Verluste beim Aussaatumfang von 40,36 % bei der Sommergerste, 39,98 % bei der Zuckerrübe, 35,70 % beim Winterweizen und 34,23 % beim Mais.

Da die Ergebnisse zum Aussaatumfang den Ergebnissen aus Kapitel 4.4 grundsätzlich gleichen, wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse verzichtet und auf den Anhang (siehe Tabelle 119 bis Tabelle 126) verwiesen.

4.6 Ausführliche Darstellung eines Arbeitstableaus

Um die im Methodenteil beschriebene Vorgehensweise zum Arbeitstableau hier nochmals grundsätzlich zu exponieren, wird in diesem Kapitel zunächst eine ausführliche Darstellung eines Auszugs des Arbeitstableaus für Winterweizen für einen kleinen Betrieb mit wendender Bodenbearbeitung und Windauflage in Gießen wiedergegeben. Die Arbeitstableaus beruhen auf der einschränkenden Annahme einer Arbeitskraft (siehe Kapitel 3.6). Die Ergebnisse aller Arbeitstableaus sind als Excel-Tabellen auf der beigelegten CD-ROM beziehungsweise im ergänzenden Datensatz auf JLUpub (<https://jlupub.ub.uni-giessen.de/handle/jlupub/21717>) enthalten. Tabelle 42 zeigt als Beispiel den Winterweizenanbau in Gießen mit wendender Bodenbearbeitung und Windauflage eines kleinen Betriebes. Die Lösung (ha) der einzelnen Arbeitsgänge gibt an, wie viele ha unter den gegebenen Bedingungen bearbeitet werden können. Der Umfang (ha) gibt an, wie viele Hektar (ha) durch die anfallenden Arbeitsgänge mit gleicher Anspruchsstufe (AS), die in derselben Zeitspanne liegen, maximal bearbeitet werden können. Die Nutzung (kumulierte Nutzung) gibt an, wie viele Feldarbeitstage (FAT) in einer Zeitspanne mit gleicher AS tatsächlich genutzt werden können. Dabei sind bei niedrigeren AS die genutzten Kapazitäten höherer AS bereits enthalten (kumuliert). Sie ergibt sich aus den Ansprüchen der Arbeitsverfahren einer Zeitspanne mit gleicher AS und dem geringsten möglichen Umfang einer Zeitspanne insgesamt. Die Lösung (ha) entspricht also dem geringsten möglichen Umfang einer Zeitspanne. Während der Umfang also nur FA und NFAT derselben AS berücksichtigt, werden bei der tatsächlichen Nutzung (ha) und der Lösung (ha) die Ansprüche von höheren AS auf die niedrigeren AS mitberücksichtigt. Folgend werden zum Verständnis die Ergebnisse aller Arbeitsgänge aus Tabelle 42 der Reihe nach beziehungsweise nach zugehörigen Zeiträumen erläutert.

Bodenprobe und Grunddüngung

Beide Arbeitsgänge liegen im SEP1, wobei die Grunddüngung Kapazitäten ab FAT2 beansprucht und die Bodenprobe nur Kapazitäten von NFAT beansprucht. Die Grunddüngung kann in einem maximalen Umfang von 400,00 ha durchgeführt werden. Da Bodenprobe und Grunddüngung zusammen nur auf 373,33 ha durchgeführt werden können, ergibt sich bei beiden Arbeitsgängen eine Lösung von 373,33 ha. Aus dieser Lösung wiederum ergibt sich durch die

summierten Ansprüche (h/ha) der Zeitspanne mit zugehöriger AS und dem geringsten Umfang der Zeitspanne insgesamt (Lösung) die (kumulierte) Nutzung von 112,00 h.

Pflügen und Stoppelbearbeitung (tief)

Die beiden Arbeitsgänge liegen im Zeitraum SEP2 und beanspruchen Kapazitäten ab FAT3, sodass der maximale Umfang sowie die Lösung 37,01 ha betragen, wobei die kompletten Kapazitäten von 104,00 FAT3 genutzt werden.

Eggen mit Saatbettkombination

Dieser Arbeitsgang liegt im OKT1 und beansprucht Kapazitäten ab FAT2. Der Umfang von 160,34 ha ist gleichzeitig die Lösung. Die Kapazitäten von FAT2 werden hier voll genutzt.

Säen mit Sämaschine, Unkrautbonitur und Pflanzenschutzmaßnahme 1

Diese Arbeitsgänge liegen alle im OKT2. Der Arbeitsgang Säen mit der Sämaschine beansprucht Kapazitäten ab FAT2_W (FAT2 inklusive Windauflage), die Unkrautbonitur beansprucht Kapazitäten ab FAT2 und die Pflanzenschutzmaßnahme 1 beansprucht Kapazitäten von NFAT. Der geringstmögliche Umfang liegt mit 79,63 ha bei FAT2, sodass sich für alle drei Arbeitsgänge dieser Umfang als Lösung ergibt. Die Nutzung von 64,50 h beim Säen mit Sämaschine zeigt, dass hier nicht die gesamte Kapazität genutzt wird, da die Restriktion in der gesamten Zeitspanne in FAT2 eintritt, wo auch die gesamte Kapazität genutzt wird. Insgesamt (kumuliert) werden aber 99,54 h im Zeitraum OKT2 genutzt.

N_{min}-Probennahme

Die N_{min}-Probennahme erfolgt allein im Zeitraum FEB1. Es ist die volle Nutzung der Kapazitäten möglich, sodass sich ein Umfang von 224,00 ha ergibt, der der Lösung entspricht.

Bestandesbonitur 1

Die Bestandesbonitur 1 liegt allein im Zeitraum FEB2, sodass die Kapazitäten voll genutzt werden können und sich ein maximaler Umfang von 861,54 ha ergibt, der der Lösung entspricht.

Stickstoffdüngung N1

Die Stickstoffdüngung N1 ist der einzige Arbeitsgang im MRZ1, sodass die Kapazitäten voll genutzt werden können und der Umfang 286,75 ha beträgt, welches gleichzeitig der Wert der Lösung ist.

Bestandesbonitur 2

Die Bestandesbonitur 2 liegt allein im Zeitraum MRZ2, sodass die Kapazität voll genutzt werden kann und sich ein maximaler Umfang von 935,85 ha ergibt, der der Lösung entspricht.

Stickstoffdüngung N2 und Pflanzenschutzmaßnahme 3

Diese beiden Arbeitsgänge liegen in APR2 und beanspruchen Kapazitäten ab FAT2. Der maximale Umfang bei voller Nutzung der Kapazitäten beträgt 182,86 ha und entspricht der Lösung.

Pflanzenschutzmaßnahme 2

Die Pflanzenschutzmaßnahme 2 liegt allein im Zeitraum APR1, sodass die Kapazitäten voll genutzt werden können und sich ein maximaler Umfang von 320,00 ha ergibt, welcher der Lösung entspricht.

Bestandesbonitur 3

Die Bestandesbonitur 3 liegt allein im Zeitraum MAI1, sodass die Kapazitäten voll genutzt werden können und sich ein maximaler Umfang von 935,85 ha ergibt, welcher der Lösung entspricht.

Stickstoffdüngung N3

Die Stickstoffdüngung N3 findet im MAI2 als einziger Arbeitsgang in diesem Zeitraum statt, sodass die Kapazitäten voll genutzt werden können und sich ein maximaler Umfang von 568,33 ha ergibt, welcher der Lösung entspricht.

Pflanzenschutzmaßnahme 4

Die Pflanzenschutzmaßnahme 4 liegt allein im Zeitraum JUN1, sodass die Kapazitäten voll genutzt werden können und sich ein maximaler Umfang von 348,57 ha ergibt, welcher der Lösung entspricht.

Mähdrusch sowie Korntransport, Lagern und Trocknen

Die beiden Arbeitsgänge zur Ernte liegen im AUG1, wobei Mähdrusch Kapazitäten ab FAT1 und Korntransport, Lagern und Trocknen Kapazitäten von NFAT beansprucht. Die Lösung für die beiden Arbeitsgänge ergibt sich aus dem Umfang von FAT1 in Höhe von 61,26 ha. Bei Mähdrusch kann die gesamte Kapazität genutzt werden, wohingegen insgesamt (kumuliert) 75,35 h genutzt werden.

Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach)

Diese Arbeitsgänge werden in AUG2 durchgeführt. Kalk ab Feld streuen stellt mit AS2 höhere Ansprüche an die Bodenfeuchte als Stoppelbearbeitung (flach) mit AS3. Durch den höheren Anspruch an h/ha ergibt sich die Restriktion bei FAT3, wo der Umfang 110,05 ha beträgt, sodass die Lösung für die Arbeitsgänge ebenfalls 110,05 ha beträgt. Da Kalk ab Feld streuen einen relativen geringen Anspruch an h/ha hat, wird bei FAT2 im Gegensatz zu FAT3 nicht die gesamte Kapazität genutzt.

Tabelle 42: Auszug Arbeitstableau für Winterweizen (wendend) für einen kleinen Betrieb mit Windauflage in Gießen (Quelle: Eigene Berechnung)

1639 Giessen, Wind, Winterweizen - Backweizen, wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, leichter Boden, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km		Kapazitäten (h)	Nutzung (h)	Ungleichung	Bodenprobe (t/ha)	Grunddüngung (t/ha)	Pflügen (t/ha)	Eggen mit Saatbettkombination (t/ha)	Slan mit Sämaschine (t/ha)	Umfraubarbeit (t/ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (t/ha)	Nach-Probemaße (t/ha)	Bestandesbonitur 1 (t/ha)	Stickstoffdüngung N1 (t/ha)	Bestandesbonitur 2 (t/ha)	Stickstoffdüngung N2 (t/ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (t/ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 3 (t/ha)	Bestandesbonitur 3 (t/ha)	Stickstoffdüngung N3 (t/ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 4 (t/ha)	Mähdresch (t/ha)	Konttransport, Lagern und Trocknen (t/ha)	Kalk ab Feld streuen (t/ha)	Stoppelbearbeitung, flach (t/ha)	Stoppelbearbeitung, tief (t/ha)	Umsatz (t/ha)
LÖSUNG (ha)					373,33	373,33	37,01	160,34	79,63	79,63	79,63	224,00	861,54	286,75	953,85	182,86	320,00	182,86	953,85	568,33	348,57	61,26	61,26	110,05	110,05	37,01	37,01
Zeitraum	AS																										
JAN_01	FAT_2	0,00																									
JAN_01	FAT_3	48,05																									
JAN_02	FAT_2	0,00																									
JAN_02	FAT_3	69,75																									
FEB_01	FAT_2	1,55																									
FEB_01	FAT_3	73,07																									
FEB_01	N_FAT	112,00	112,00									0,50															224,00
FEB_02	FAT_2	14,80																									
FEB_02	FAT_3	80,00																									
FEB_02	N_FAT	112,00	112,00										0,13														861,54
MRZ_01	FAT_2	57,35	57,35											0,20													286,75
MRZ_01	FAT_3	93,00												0,20													
MRZ_02	FAT_2	63,55																									
MRZ_02	FAT_3	93,00																									
MRZ_02	N_FAT	124,00	124,00												0,13												953,85
APR_01	FAT_2	89,60	89,60														0,28										320,00
APR_01	FAT_3	112,00															0,28										
APR_02	FAT_2	89,60	89,60													0,21		0,28									182,86
APR_02	FAT_3	105,60																0,28									
MAI_01	FAT_2	93,00																									
MAI_01	FAT_3	102,30																									
MAI_01	N_FAT	124,00	124,00															0,13									953,85
MAI_02	FAT_2	102,30	102,30																		0,18						568,33
MAI_02	FAT_3	108,50																			0,18						
JUN_01	FAT_2	97,60	97,60																			0,28					348,57
JUN_01	FAT_3	104,00																				0,28					
JUN_02	FAT_2	104,00																									
JUN_02	FAT_3	105,60																									
JUL_01	FAT_2	100,75																									
JUL_01	FAT_3	102,30																									
JUL_02	FAT_2	108,50																									
JUL_02	FAT_3	116,25																									
AUG_01	FAT_1	68,00	68,00																			1,11					61,26
AUG_01	FAT_2	108,50																									
AUG_01	FAT_3	116,25																									
AUG_01	N_FAT	124,00	75,35																				1,23				100,81
AUG_02	FAT_2	108,50	16,51																					0,15			723,33
AUG_02	FAT_3	110,05	110,05																					0,15	0,85		110,05
SEP_01	FAT_2	104,00	97,07			0,26																					400,00
SEP_01	FAT_3	112,00				0,26																					
SEP_01	N_FAT	120,00	112,00		0,04	0,26																					373,33
SEP_02	FAT_2	104,00						1,89																			
SEP_02	FAT_3	104,00	104,00																							0,92	37,01
OKT_01	FAT_2	93,00	93,00					0,58																			160,34
OKT_01	FAT_3	108,50						0,58																			
OKT_02	FAT_2_W	86,80	64,50						0,81																		107,16
OKT_02	FAT_2	86,80	86,80						0,81	0,28																	79,63
OKT_02	FAT_3	108,50							0,81	0,28																	
OKT_02	N_FAT	124,00	99,54						0,81	0,16	0,28																99,20

AS Anspruchsstufe
FAT Feldarbeitstag
FAT_1 Feldarbeitstag der Anspruchsstufe 1
FAT_2 Feldarbeitstag der Anspruchsstufe 2
FAT_2_W Feldarbeitstag der Anspruchsstufe 2 mit Windauflage
FAT_3 Feldarbeitstag der Anspruchsstufe 3
N_FAT Nicht-Feldarbeitstag

4.7 Verfahrensumfänge sowie Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge und der Anbauverfahren am Beispiel des Winterweizens

Während sich die Ergebnisse in den vorangegangenen Kapiteln nur auf die Aussaat als Arbeitsgang beschränken, erfolgt in diesem und den kommenden Kapiteln durch die Darstellung der Ergebnisse zu den möglichen Umfängen der Arbeitsgänge zur Aussaat sowie für die Anbauverfahren und die Darstellung der Ordnung der Restriktionen eine integrative Betrachtung des Arbeitsgangs der Aussaat in den Anbauverfahren selbst.

Die Ergebnisse dieses Kapitels beruhen auf der einschränkenden Annahme einer Arbeitskraft (siehe Kapitel 3.6) und dienen der Veranschaulichung der verwendeten Methoden sowie der Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse aller Anbaukulturen in vereinfachter (komprimierter) Form in Kapitel 4.8, weswegen die Ergebnisdarstellung hier auf den Winterweizen beschränkt ist.

Die im folgenden Kapitel genannten Halbmonate, in denen die Arbeitsgänge liegen und sonstige, nicht in den folgend aufgeführten Tabellen enthaltene Daten der Arbeitstableaus, sind als Excel-Tabellen auf der beigelegten CD-ROM beziehungsweise im ergänzenden Datensatz auf JLUpub (<https://jlupub.ub.uni-giessen.de/handle/jlupub/21717>) enthalten. Ebenfalls sind die ausführlichen Ergebnisse der anderen Anbaukulturen dieses Kapitels im Anhang (siehe Tabelle 127 bis Tabelle 144) enthalten.

Zur textlichen Klarheit werden die Arbeitsgänge Säen, Unkrautbonitur und Pflanzenschutzmaßnahme 1, welche alle im OKT2 liegen, teilweise zusammenfassend als Arbeitsgänge zur Aussaat oder Aussaat bezeichnet. Dasselbe gilt für die Arbeitsgänge Mähdrusch sowie Korntransport, Lagern und Trocknen. Diese liegen im AUG1 und werden folglich als teilweise Arbeitsgänge zur Ernte oder Ernte genannt. Die halbmonatlichen Ausführungszeiträume der Arbeitsgänge sowie weitere Einzelheiten können den Excel-Tabellen der Arbeitstableaus auf der beigelegten CD-ROM beziehungsweise im ergänzenden Datensatz auf JLUpub (<https://jlupub.ub.uni-giessen.de/handle/jlupub/21717>) entnommen werden.

Im folgenden Kapitel konzentriert sich die Darstellung der Ergebnisse auf die kleinen Betriebe. Die Darstellung der Ergebnisse der großen Betriebe erfolgt, wenn nicht textlich anders hervorgehoben, in Klammern.

4.7.1 Umfänge der Anbauverfahren Winterweizen

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse zu den Umfängen der einzelnen Arbeitsgänge sowie des Verfahrensumfanges dargestellt.

4.7.1.1 Umfänge Winterweizen wendend

Tabelle 43 zeigt die Ergebnisse der maximalen Umfänge der einzelnen Arbeitsgänge sowie den maximalen Verfahrensumfang des wendenden Anbauverfahrens für Winterweizen.

Gießen

Im SEP2 ergeben sich für das Pflügen und die tiefe Stoppelbearbeitung Umfänge von 37,01 ha für den kleinen Betrieb (großer Betrieb: 73,76 ha), die die geringsten Umfänge unter allen Arbeitsgängen darstellen. Anschließend folgen die Arbeitsgänge zur Ernte mit dem Mähdrusch sowie Korntransport, Lagern und Trocknen, wo sich Umfänge von 61,26 ha (119,30 ha) ergeben. Die Arbeitsgänge Säen, Unkrautbonitur 1 und Pflanzenschutzmaßnahme 1 im OKT2 ermöglichen unter den gegebenen Umständen die Bearbeitung von 79,63 ha (149,66 ha). Die Stickstoffdüngung N1 zum Vegetationsbeginn im MRZ1 ist in einem Umfang von 286,75 ha (819,29 ha) möglich. Kalk ab Feld streuen und die flache Stoppelbearbeitung im AUG2 sind auf 110,05 ha (250,11 ha) möglich. Das Eggen mit Saatbettkombination kann im OKT1 zu 160,34 ha (387,50 ha) durchgeführt werden. Die Stickstoffdüngung N2 sowie die Pflanzenschutzmaßnahme 3 im APR2 sind in einem Umfang von 182,86 ha (358,40 ha) möglich. Die $N_{\min}$ -Probennahme im FEB1 und die Pflanzenschutzmaßnahme 2 im APR1 können auf je 224,00 ha (1120,00 ha) und 320,00 ha (527,06 ha) durchgeführt werden. Die Pflanzenschutzmaßnahme 4 im JUN1 ist auf 348,57 ha (574,12 ha) durchführbar. Die Bodenprobe und Grunddüngung im SEP1 sind jeweils auf 373,33 ha (933,33 ha) möglich. Für die Stickstoffdüngung N3 im MAI2 ist ein Umfang von 568,33 ha (1461,43 ha) realisierbar. Für die Bestandesbonitur 2 im MRZ2 sowie die Bestandesbonitur 3 im MAI1 sind jeweils Umfänge von 953,85 ha (1240,00 ha) möglich.

Die Ergebnisse der Tabelle 43 zeigen, dass die Ergebnisse in Gießen bei wendender Bodenbearbeitung ohne und mit Windauflage identisch sind.

Teterow

Wie in der Tabelle 43 ersichtlich wird, entsprechen die Umfänge der Arbeitsgänge in Relation zueinander in etwa denen in Gießen. Eine Ausnahme bildet dabei, dass das Gesamtverfahren in Teterow nicht durch die Arbeitsgänge im SEP2 (37,01 ha (73,76 ha)), sondern durch die Erntearbeiten im AUG1 (36,94 ha (71,93 ha)) an erster Stelle beschränkt wird. Die Arbeitsgänge wie $N_{\min}$ -Probennahme, Bestandesbonitur 1 und Bestandesbonitur 3, deren Aktivität nur NFAT beanspruchen und allein in einem Zeitraum liegen, weisen dieselben Umfänge wie in Gießen auf. Geringe bis keine Unterschiede treten im SEP1 (Bodenprobe und Grunddüngung), im SEP2 (Pflügen und Stoppelbearbeitung (tief)), im OKT1 (Eggen mit Saatbettkombination) und im OKT2 (Säen mit Sämaschine, Unkrautbonitur und Pflanzenschutzmaßnahme 1) auf. Unterschiede ergeben sich vor allem aus den verschiedenen Zeiträumen für die Düngegaben N1 und N2. So fallen in Teterow in den Zeiträumen MRZ2 und APR1 zu den Arbeitsgängen Bestandesbonitur 2 und Pflanzenschutzmaßnahme 2 zusätzlich die Arbeitsgänge Stickstoffdüngung N1 und Stickstoffdüngung N2 an, sodass sich hier nennenswert niedrigere Umfänge ergeben. Dementsprechend ergibt sich für Teterow im APR2 für den Arbeitsgang Pflanzenschutzmaßnahme 3 ein höherer Umfang. Eggen mit der Saatbettkombination im OKT1 ist der einzige Arbeitsgang, bei dem in Teterow mit 163,02 ha (393,96 ha) unter gleichen Bedingungen wie in Gießen ein höherer Umfang möglich ist.

Die Windauflage bedingt eine Abnahme der Umfänge der Arbeitsgänge zur Aussaat im OKT2 von 61,15 ha (114,91 ha) auf 38,27 ha (75,61 ha). Die Restriktion ergibt sich hierbei direkt durch die Kapazität an FAT2W und dem Arbeitsgang Säen mit Sämaschine, also ohne die Kumulierung von FA höherer AS mit FA niedrigerer AS. Während im OKT2 die Kapazitäten von FAT2W voll genutzt werden, bleiben durch die Restriktion auf dieser Ebene die Kapazitäten der niedrigeren AS in einem höheren Maß ungenutzt als im Arbeitstableau ohne Windauflage.

Boltenhagen

In Boltenhagen wird die Stickstoffdüngung N1 im MRZ2, die Stickstoffdüngung N2 im APR2 und Stickstoffdüngung N3 im JUN1 durchgeführt, was zu anderen Relationen wie in den beiden übrigen Stationen führt. Für den kleinen und den großen Betrieb ergeben sich die geringsten Umfänge mit 23,42 ha (45,61 ha) durch die Erntearbeiten im AUG1. Darauf folgen Pflügen und Stoppelbearbeitung (tief) im SEP2, die im Umfang von 34,73 ha (69,22 ha) möglich sind. Das Pflügen und die Stoppelbearbeitung (tief) im SEP2 erreichen ähnliche Umfänge wie in Gießen und Teterow. Die Arbeitsgänge Säen mit Sämaschine, Unkrautbonitur und Pflanzenschutzmaßnahme 1 sind im OKT2 in einem Umfang von 63,99 ha (120,26 ha) ähnlich den Umfängen in Teterow realisierbar. Die Arbeitsgänge Bodenprobe und Grunddüngung im SEP1 (293,33 ha (800,00 ha)), Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach) im AUG2 (100,75 ha (228,98 ha)) weisen vergleichsweise nur leicht geringere Umfänge als die beiden übrigen Stationen auf, wohingegen es beim Arbeitsgang Pflanzenschutzmaßnahme 4 aufgrund des Zusammenfallens mit der Stickstoffdüngung N3 im JUN1 zu geringeren Umfängen von 191,30 ha (336,67 ha) kommt. Die Umfänge bei den Arbeitsgängen Stickstoffdüngung N2 und Pflanzenschutzmaßnahme 2 betragen 146,94 ha (288,00 ha) und 234,29 ha (385,88 ha). Deutlich geringere Umfänge liegen beim Vergleich mit den anderen Stationen bei der Pflanzenschutzmaßnahme 3 mit 146,94 ha (288,00 ha) vor.

Bei Einführung der Windauflage sinkt beim kleinen Betrieb der Umfang der Arbeitsgänge zur Aussaat im OKT2 auf 38,27 ha und stellt zusammen mit den Arbeitsgängen im SEP2 Pflügen und Stoppelbearbeitung (tief) mit einem Umfang von 34,73 ha (69,22 ha) sowie den Erntearbeiten im AUG1 mit Umfängen von 23,42 ha (45,61 ha) die Arbeitsgänge mit den niedrigsten Umfängen dar.

Tabelle 43: Umfänge der Arbeitsgänge für Winterweizen (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Winterweizen, wendend	Bodenprobe (ha)	Grunddüngung (ha)	Pflügen (ha)	Eggen mit Saatbettkombination (ha)	Säen mit Sämaschine (ha)	Unkrautbonitur (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Stickstoffdüngung N1 (ha)	Bestandesbonitur 2 (ha)	Stickstoffdüngung N2 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 3 (ha)	Bestandesbonitur 3 (ha)	Stickstoffdüngung N3 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 4 (ha)	Mährusch (ha)	Korntransport, Lagern und Trocknen (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Stoppelbearbeitung, flach (ha)	Stoppelbearbeitung, tief (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	373,33	373,33	37,01	160,34	79,63	79,63	79,63	224,00	861,54	286,75	953,85	182,86	320,00	182,86	953,85	568,33	348,57	61,26	61,26	110,05	110,05	37,01	37,01
Gießen, klein, Wind	373,33	373,33	37,01	160,34	79,63	79,63	79,63	224,00	861,54	286,75	953,85	182,86	320,00	182,86	953,85	568,33	348,57	61,26	61,26	110,05	110,05	37,01	37,01
Gießen, groß	933,33	933,33	73,76	387,50	149,66	149,66	149,66	1120,00	1120,00	819,29	1240,00	358,40	527,06	358,40	1240,00	1461,43	574,12	119,30	119,30	250,11	250,11	73,76	73,76
Gießen, groß, Wind	933,33	933,33	73,76	387,50	149,66	149,66	149,66	1120,00	1120,00	819,29	1240,00	358,40	527,06	358,40	1240,00	1461,43	574,12	119,30	119,30	250,11	250,11	73,76	73,76
Teterow, klein	298,67	298,67	37,01	163,02	61,15	61,15	61,15	224,00	861,54	162,75	162,75	169,80	169,80	348,57	953,85	602,78	320,00	36,94	36,94	110,05	110,05	37,01	36,94
Teterow, klein, Wind	298,67	298,67	37,01	163,02	38,27	38,27	38,27	224,00	861,54	162,75	162,75	169,80	169,80	348,57	953,85	602,78	320,00	36,94	36,94	110,05	110,05	37,01	36,94
Teterow, groß	746,67	746,67	73,76	393,96	114,91	114,91	114,91	1120,00	1120,00	465,00	465,00	332,80	332,80	574,12	1240,00	1550,00	527,06	71,93	71,93	250,11	250,11	73,76	71,93
Teterow, groß, Wind	746,67	746,67	73,76	393,96	75,61	75,61	75,61	1120,00	1120,00	465,00	465,00	332,80	332,80	574,12	1240,00	1550,00	527,06	71,93	71,93	250,11	250,11	73,76	71,93
Boltenhagen, klein	293,33	293,33	34,73	149,66	63,99	63,99	63,99	224,00	861,54	162,75	162,75	146,94	234,29	146,94	953,85	191,30	191,30	23,42	23,42	100,75	100,75	34,73	23,42
Boltenhagen, klein, Wind	293,33	293,33	34,73	149,66	38,27	38,27	38,27	224,00	861,54	162,75	162,75	146,94	234,29	146,94	953,85	191,30	191,30	23,42	23,42	100,75	100,75	34,73	23,42
Boltenhagen, groß	800,00	800,00	69,22	361,67	120,26	120,26	120,26	1120,00	1120,00	465,00	465,00	288,00	385,88	288,00	1240,00	366,67	366,67	45,61	45,61	228,98	228,98	69,22	45,61
Boltenhagen, groß, Wind	800,00	800,00	69,22	361,67	75,61	75,61	75,61	1120,00	1120,00	465,00	465,00	288,00	385,88	288,00	1240,00	366,67	366,67	45,61	45,61	228,98	228,98	69,22	45,61

4.7.1.2 Umfänge Winterweizen nichtwendend

Tabelle 44 zeigt die Ergebnisse zu den maximalen Umfängen der einzelnen Arbeitsgänge sowie den maximalen Verfahrensumfang des nichtwendenden Anbauverfahrens für Winterweizen. Das nichtwendende Anbauverfahren unterscheidet sich vom wendenden Anbauverfahren durch das Wegfallen des Eggens mit der Saatbettkombination im OKT1, des weniger arbeitsintensiven Tiefgrubbers statt des Pflügens im SEP2 und des arbeitsintensiveren Säens mit Kreiselegge im OKT2. Die restlichen Zeiträume und Umfänge der Arbeitsgänge entsprechen denen des wendenden Anbauverfahrens, sodass an dieser Stelle mit Ausnahme von Gießen auf eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse verzichtet wird.

Gießen

Für Gießen ergibt sich im SEP2 für das Tiefgrubbern und die tiefe Stoppelbearbeitung ein Umfang von 51,74 ha für den kleinen und ein Umfang von 113,04 ha für den großen Betrieb, während der Umfang für die Arbeitsgänge zur Ernte 61,26 ha für den kleinen und 119,30 ha für den großen Betrieb beträgt. Für die Arbeitsgänge zur Aussaat ergibt sich im OKT2 ein Umfang von 57,11 ha (großer Betrieb: 100,93 ha). Die Stickstoffdüngung N1 zum Vegetationsbeginn im MRZ1 ist in einem Umfang von 286,75 ha (819,29 ha) möglich. Kalk ab Feld streuen und die flache Stoppelbearbeitung im AUG2 sind auf 110,05 ha (275,13 ha) möglich. Die Stickstoffdüngung N2 sowie die Pflanzenschutzmaßnahme 3 im APR2 sind in einem Umfang von 182,86 ha (358,40 ha) realisierbar. Die $N_{\min}$ -Probennahme im FEB1 und die Pflanzenschutzmaßnahme 2 im APR1 können auf je 224,00 ha (1120,00 ha) und 320,00 ha (527,06 ha) durchgeführt werden. Die Pflanzenschutzmaßnahme 4 im JUN1 ist auf 348,57 ha (574,12 ha) und die Bodenprobe sowie die Grunddüngung im SEP1 sind auf jeweils 373,33 ha (933,33 ha) möglich. Die Stickstoffdüngung N3 im MAI2 ist im Umfang von 568,33 ha (1461,43 ha), die Bestandesbonitur 2 im MRZ2 sowie die Bestandesbonitur 3 im MAI1 sind jeweils in einem Umfang von 935,85 ha (1240,00 ha) realisierbar. In Gießen entsprechen die Ergebnisse ohne Windauflagen denen mit Windauflage.

Teterow

Die Arbeitsgänge Tiefgrubbern und Stoppelbearbeitung (tief) im SEP2 sind in einem Umfang von 51,74 ha (113,04 ha) möglich. Zur Aussaat im OKT2 ist ein Umfang von 43,85 ha (77,50 ha) möglich. Mit Windauflage sinken die möglichen Umfänge zur Aussaat im OKT2 auf 25,00 ha (44,93 ha) deutlich ab.

Boltenhagen

Für die Arbeitsgänge zur Aussaat im OKT2 ergibt sich ein Umfang von 45,89 ha (81,10 ha). Tiefgrubbern und Stoppelbearbeitung (tief) im SEP2 sind in einem Umfang von 48,56 ha (106,09 ha) möglich. Mit Windauflage sinken die möglichen Umfänge zur Aussaat im OKT2 auf 25,00 ha (44,93 ha) deutlich ab.

Tabelle 44: Umfänge der Arbeitsgänge für Winterweizen (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Winterweizen, nichtwendend	Bodenprobe (ha)	Grunddüngung (ha)	Tiefgrubbern (ha)	Säen mit Kreiselegge und Sämaschine (ha)	Unkrautbonitur (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Stickstoffdüngung N1 (ha)	Bestandesbonitur 2 (ha)	Stickstoffdüngung N2 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 3 (ha)	Bestandesbonitur 3 (ha)	Stickstoffdüngung N3 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 4 (ha)	Mähdrusch (ha)	Korntransport, Lagern und Trocknen (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Stoppelbearbeitung, flach (ha)	Stoppelbearbeitung, tief (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	373,33	373,33	51,74	57,11	57,11	57,11	224,00	861,54	286,75	953,85	182,86	320,00	182,86	953,85	568,33	348,57	61,26	61,26	110,05	110,05	51,74	51,74
Gießen, klein, Wind	373,33	373,33	51,74	57,11	57,11	57,11	224,00	861,54	286,75	953,85	182,86	320,00	182,86	953,85	568,33	348,57	61,26	61,26	110,05	110,05	51,74	51,74
Gießen, groß	933,33	933,33	113,04	100,93	100,93	100,93	1120,00	1120,00	819,29	1240,00	358,40	527,06	358,40	1240,00	1461,43	574,12	119,30	119,30	275,13	275,13	113,04	100,93
Gießen, groß, Wind	933,33	933,33	113,04	100,93	100,93	100,93	1120,00	1120,00	819,29	1240,00	358,40	527,06	358,40	1240,00	1461,43	574,12	119,30	119,30	275,13	275,13	113,04	100,93
Teterow, klein	298,67	298,67	51,74	43,85	43,85	43,85	224,00	861,54	162,75	162,75	169,80	169,80	348,57	953,85	602,78	320,00	36,94	36,94	110,05	110,05	51,74	36,94
Teterow, klein, Wind	298,67	298,67	51,74	25,00	25,00	25,00	224,00	861,54	162,75	162,75	169,80	169,80	348,57	953,85	602,78	320,00	36,94	36,94	110,05	110,05	51,74	25,00
Teterow, groß	746,67	746,67	113,04	77,50	77,50	77,50	1120,00	1120,00	465,00	465,00	332,80	332,80	574,12	1240,00	1550,00	527,06	71,93	71,93	275,13	275,13	113,04	71,93
Teterow, groß, Wind	746,67	746,67	113,04	44,93	44,93	44,93	1120,00	1120,00	465,00	465,00	332,80	332,80	574,12	1240,00	1550,00	527,06	71,93	71,93	275,13	275,13	113,04	44,93
Boltenhagen, klein	293,33	293,33	48,56	45,89	45,89	45,89	224,00	861,54	162,75	162,75	146,94	234,29	146,94	953,85	191,30	191,30	23,42	23,42	100,75	100,75	48,56	23,42
Boltenhagen, klein, Wind	293,33	293,33	48,56	25,00	25,00	25,00	224,00	861,54	162,75	162,75	146,94	234,29	146,94	953,85	191,30	191,30	23,42	23,42	100,75	100,75	48,56	23,42
Boltenhagen, groß	733,33	733,33	106,09	81,10	81,10	81,10	1120,00	1120,00	465,00	465,00	288,00	385,88	288,00	1240,00	366,67	366,67	45,61	45,61	251,88	251,88	106,09	45,61
Boltenhagen, groß, Wind	733,33	733,33	106,09	44,93	44,93	44,93	1120,00	1120,00	465,00	465,00	288,00	385,88	288,00	1240,00	366,67	366,67	45,61	45,61	251,88	251,88	106,09	44,93

4.7.1.3 Umfänge Winterweizen Direktsaat

In dem folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse des direkten Anbauverfahrens (Direktsaat) für Winterweizen der Stationen Gießen, Teterow sowie Boltenhagen ohne und mit Windauf-
lage dargestellt (siehe Tabelle 45).

Während beim wendenden Anbauverfahren im OKT1 Eggen mit der Saatbettkombination und beim nicht wendenden Anbauverfahren kein Arbeitsgang erfolgt, wird beim direkten Anbauverfahren die Pflanzenschutzmaßnahme 1 durchgeführt. Insgesamt hat das direkte Anbauverfahren damit 5 Pflanzenschutzmaßnahmen und damit eine mehr als die beiden übrigen Anbauverfahren. Beim direkten Anbauverfahren entfallen ebenfalls die arbeitsintensiven Arbeitsgänge zur Bodenbearbeitung, also das Pflügen beziehungsweise das Tiefgrubbern und die Stoppelbearbeitung (tief) im SEP2. Ebenfalls entfällt die Stoppelbearbeitung (flach) im AUG2, sodass hier nur noch Kalk ab Feld streuen durchzuführen ist.

Die restlichen Zeiträume und Umfänge der Arbeitsgänge entsprechen denen des wendenden und des nicht wendenden Anbauverfahrens, sodass hier nur für Gießen eine ausführlichere Darstellung der Ergebnisse erfolgt und bei den restlichen Stationen auf eine ausführliche Darstellung verzichtet wird.

Gießen

Im AUG1 ergeben sich für die Arbeitsgänge zur Ernte Umfänge in Höhe von 61,26 ha (großer Betrieb: 119,30 ha). Zur Stickstoffdüngung N1 im MRZ1 sind 286,75 ha (819,29 ha) möglich und für die Arbeitsgänge zur Aussaat ergibt sich im OKT2 ein Umfang von 88,57 ha (140,00 ha). Die Stickstoffdüngung N2 sowie die Pflanzenschutzmaßnahme 4 im APR2 sind in einem Umfang von 182,86 ha (358,40 ha) möglich. Die N_{min}-Probennahme im FEB1 und die Pflanzenschutzmaßnahme 3 im APR 1 können auf je 224,00 ha (1120,00 ha) und 320,00 ha (527,06 ha) durchgeführt werden. Die Pflanzenschutzmaßnahme 5 im JUN1 ist auf 348,57 ha (574,12 ha) und die Bodenprobe sowie die Grunddüngung im SEP1 sind auf jeweils 373,33 ha (933,33 ha) realisierbar. Zur Stickstoffdüngung N3 im MAI2 ergibt sich ein Umfang von 568,33 ha (1461,43 ha) und zur Pflanzenschutzmaßnahme 1 im OKT1 ergibt sich ein Umfang von 332,14 ha (547,06 ha). Die Ergebnisse in Gießen sind ohne und mit Windauf-
lage gleich.

Teterow

Im OKT1 kann die Pflanzenschutzmaßnahme 1 im Umfang von 337,68 ha realisiert werden (556,18 ha) und im OKT2 zur Aussaat können 68,01 ha (107,50 ha) bearbeitet werden. Mit Windauflage sinken die möglichen Umfänge zur Aussaat im OKT2 auf 44,29 ha (68,89 ha) ab.

Boltenhagen

Der Umfang im OKT (Pflanzenschutzmaßnahme 1) beträgt 310,00 ha (510,59 ha). Zur Aussaat im OKT2 ergeben sich 71,17 ha (112,50 ha) an Umfang. Mit Windauflage sinken die möglichen Umfänge zur Aussaat im OKT2 deutlich auf 44,29 ha (68,89 ha) ab.

Tabelle 45: Umfänge der Arbeitsgänge für Winterweizen (Direktsaat), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Winterweizen, Direktsaat	Bodenprobe (ha)	Grunddüngung (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	Säen mit Direktsaatmaschine (ha)	Unkrautbonitur (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Stickstoffdüngung N1 (ha)	Bestandesbonitur 2 (ha)	Stickstoffdüngung N2 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 3 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 4 (ha)	Bestandesbonitur 3 (ha)	Stickstoffdüngung N3 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 5 (ha)	Mähdrusch (ha)	Korntransport, Lagern und Trocknen (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	373,33	373,33	332,14	88,57	88,57	88,57	224,00	861,54	286,75	953,85	182,86	320,00	182,86	953,85	568,33	348,57	61,26	61,26	723,33	61,26
Gießen, klein, Wind	373,33	373,33	332,14	88,57	88,57	88,57	224,00	861,54	286,75	953,85	182,86	320,00	182,86	953,85	568,33	348,57	61,26	61,26	723,33	61,26
Gießen, groß	933,33	933,33	547,06	140,00	140,00	140,00	1120,00	1120,00	819,29	1240,00	358,40	527,06	358,40	1240,00	1461,43	574,12	119,30	119,30	2712,50	119,30
Gießen, groß, Wind	933,33	933,33	547,06	140,00	140,00	140,00	1120,00	1120,00	819,29	1240,00	358,40	527,06	358,40	1240,00	1461,43	574,12	119,30	119,30	2712,50	119,30
Teterow, klein	298,67	298,67	337,68	68,01	68,01	68,01	224,00	861,54	162,75	162,75	169,80	169,80	348,57	953,85	602,78	320,00	36,94	36,94	723,33	36,94
Teterow, klein, Wind	298,67	298,67	337,68	44,29	44,29	44,29	224,00	861,54	162,75	162,75	169,80	169,80	348,57	953,85	602,78	320,00	36,94	36,94	723,33	36,94
Teterow, groß	746,67	746,67	556,18	107,50	107,50	107,50	1120,00	1120,00	465,00	465,00	332,80	332,80	574,12	1240,00	1550,00	527,06	71,93	71,93	2712,50	71,93
Teterow, groß, Wind	746,67	746,67	556,18	68,89	68,89	68,89	1120,00	1120,00	465,00	465,00	332,80	332,80	574,12	1240,00	1550,00	527,06	71,93	71,93	2712,50	68,89
Boltenhagen, klein	293,33	293,33	310,00	71,17	71,17	71,17	224,00	861,54	162,75	162,75	146,94	234,29	146,94	953,85	191,30	191,30	23,42	23,42	620,00	23,42
Boltenhagen, klein, Wind	293,33	293,33	310,00	44,29	44,29	44,29	224,00	861,54	162,75	162,75	146,94	234,29	146,94	953,85	191,30	191,30	23,42	23,42	620,00	23,42
Boltenhagen, groß	733,33	733,33	510,59	112,50	112,50	112,50	1120,00	1120,00	465,00	465,00	288,00	385,88	288,00	1240,00	366,67	366,67	45,61	45,61	2325,00	45,61
Boltenhagen, groß, Wind	733,33	733,33	510,59	68,89	68,89	68,89	1120,00	1120,00	465,00	465,00	288,00	385,88	288,00	1240,00	366,67	366,67	45,61	45,61	2325,00	45,61

4.7.2 Die Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge und des Verfahrensumfangs

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse zu den Arbeitsgängen sowie ihr Verhältnis zum Verfahrensumfang für die Anbauverfahren des Winterweizens dargestellt, wobei die Arbeitsgänge zur Aussaat im Fokus stehen.

Die Erläuterungen der folgenden Ergebnisse gehen dabei insbesondere darauf ein, welche Arbeitsgänge die Anbauverfahren am ehesten einschränken und in welcher Reihenfolge die Arbeitsgänge zu einer Restriktion des Verfahrensumfangs führen. Zudem beschränkt sich die Erläuterung der Ergebnisse auf die Arbeitsgänge, die den Verfahrensumfang stärker als die Arbeitsgänge zur Aussaat beschränken und den Arbeitsgang, der den Verfahrensumfang als nächstes schwächer als die Aussaat beschränkt.

Die Restriktion erster Ordnung beschränkt dabei den Verfahrensumfang immer am stärksten, das heißt, dass sie den Verfahrensumfang genuin beschränkt und somit festlegt. Die Restriktionen höherer Ordnung schränken den Verfahrensumfang mit steigender Nummer nachrangig schwächer ein.

4.7.2.1 Ordnung der Restriktionen Winterweizen wendend

Tabelle 43 zeigt die Ergebnisse der Umfänge der einzelnen Arbeitsgänge sowie den Verfahrensumfang und die Tabelle 46 zeigt die Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für das wendenden Anbauverfahren des Winterweizens.

Gießen

Die recht arbeitsintensiven Arbeitsgänge Pflügen und Stoppelbearbeitung (tief) (insgesamt 2,81 h/ha (großer Betrieb: 1,41 h/ha)) bilden im SEP2 die Restriktion erster Ordnung und beschränken den Verfahrensumfang auf 37,01 ha (73,76 ha). Die zweite Restriktion erfolgt zu den Erntearbeiten im AUG1, wo der Umfang 61,26 ha (119,30 ha) beträgt. Die Arbeitsgänge, die im OKT2 mit der Aussaat zusammenfallen, sind mit einem Arbeitszeitauspruch von insgesamt 1,25 h/ha (0,68 h/ha) ebenfalls arbeitsintensive Arbeitsgänge und ermöglichen einen Umfang von 79,36 ha (149,66 h/ha). Sie bilden zudem die Restriktion dritter Ordnung. Abgesehen von Kalk ab Feld streuen und der Stoppelbearbeitung (flach) im AUG2 mit 110,05 ha

(250,11 ha) sind alle weiteren Arbeitsgänge in einem erheblich größeren Umfang möglich, so dass hier resümiert wird, dass die Arbeitsgänge zur Aussaat nicht genuin beschränkend für das gesamte Anbauverfahren sind. Ebenfalls kann festgestellt werden, dass das gesamte Anbauverfahren, welches durch die Restriktion erster Ordnung beschränkt wird, beim großen Betrieb ungefähr im doppelten Umfang realisierbar ist. Entsprechendes gilt auch für die Restriktion zweiter Ordnung (Erntearbeitsgänge) und dritter Ordnung (Arbeitsgänge zur Aussaat). Beim Vergleich des kleinen mit dem großen Betrieb wird ersichtlich, dass hier die Ordnung der Restriktionen für die ersten fünf Restriktionen identisch sind. Erst bei höheren Restriktionen treten Unterschiede auf.

Der Vergleich der Ergebnisse ohne und mit Windauflage (Tabelle 43 und Tabelle 46) zeigt, dass die Windauflage zu keinen Veränderungen des Umfanges der Arbeitsgänge zur Aussaat im OKT2 führt. Die Einführung der Windauflage hat sowohl auf der Ebene des Anbauverfahrens sowie für die Arbeitsgänge in den betreffenden Zeiträumen keine Auswirkungen. In Gießen nimmt der Umfang zur Aussaat durch die Windauflage nicht ab. Auch die Ordnung der Restriktionen bleibt bestehen, sodass der mögliche Umfang des Anbauverfahrens ohne und mit Windauflage derselbe ist. Eine Beschränkung des Anbauverfahrens durch die Aussaat ohne und mit Windauflage ist nicht gegeben.

Teterow

In Teterow wird das Anbauverfahren aufgrund der geringen Anzahl an verfügbaren Mähdruschstunden in erster Ordnung durch die Erntearbeiten im AUG1 beschnitten (36,94 ha (71,93 ha)). Erst in zweiter Ordnung folgen die Arbeitsgänge Pflügen und Stoppelbearbeitung (tief) im SEP2 (37,01 ha (73,76 ha)). Die Restriktion dritter Ordnung erfolgt im OKT2 zur Aussaat (61,15 ha (114,91 ha)). Abgesehen von Kalk ab Feld streuen und der Stoppelbearbeitung (flach) im AUG2 mit 110,05 ha (250,11 ha) sind alle weiteren Arbeitsgänge zu erheblich höheren Umfängen möglich, sodass auch hier festgestellt werden kann, dass die Aussaat nicht zu den primär einschränkenden Arbeitsgängen des Anbauverfahrens zählt. Bei den Arbeitsgängen zur Ernte sowie beim Pflügen und der Stoppelbearbeitung (tief) erreicht der große Betrieb ungefähr den doppelten Umfang des kleinen Betriebs und bei den Arbeitsgängen zur Aussaat den 1,88-fachen Umfang. Unter den ersten vier Restriktionen ergeben sich bei dem großen Betrieb die größten Vorteile bei Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach), wo der

Umfang gegenüber dem kleinen Betrieb um 140,06 ha höher liegt. Bei den Arbeitsgängen zur Aussaat im OKT2 sowie dem Pflügen und der Stoppelbearbeitung (tief) im SEP2 sind die Umfänge des großen Betriebs um 53,76 ha und 36,75 ha höher. Bei den genuin beschränkenden Erntearbeiten liegen die Umfänge des großen Betriebes um 34,99 ha über denen des kleinen Betriebs.

Wie Tabelle 43 und Tabelle 46 zeigen, führt die Windauflage zu einem geringen Umfang bei der Aussaat, nicht aber zu einer Veränderung bei dem Verfahrensumfang des Anbauverfahrens. Auch die Ordnung der Restriktionen bleibt bei beiden Betriebstypen gleich. Beim kleinen Betrieb liegen die Arbeitsgänge zur Aussaat aber mit 38,27 ha sehr nah an den Restriktionen erster und zweiter Ordnung, deren Umfänge jeweils 36,94 ha und 37,01 ha betragen. Eine Beschränkung des Anbauverfahrens durch die Aussaat ist ohne Windauflage äußerst unwahrscheinlich. Mit Windauflage kann es beim kleinen Betrieb aber in einzelnen Jahren durchaus vorkommen, dass die Aussaat den Verfahrensumfang beschränkt. Unter der Annahme von überbetrieblichem Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz sowie von Lohnarbeiten während der Ernte kann die Aussaat den Verfahrensumfang genuin beschränken.

Boltenhagen

In Boltenhagen ist das Anbauverfahren beider Betriebstypen durch die Arbeitsgänge der Ernte im AUG1 mit 23,45 ha (45,61 ha) in erster Ordnung limitiert. Darauf folgen die Arbeitsgänge Pflügen und Stoppelbearbeitung (tief) im SEP2, welche das Anbauverfahren mit einem Umfang von 34,73 ha (69,22 ha) an zweiter Stelle limitieren. Die Restriktion dritter Ordnung erfolgt durch die Aussaat im OKT2, welche in einem Umfang von 61,15 ha (114,91 ha) durchführbar ist. An vierter Stelle schränken die Arbeiten Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach) das Anbauverfahren im AUG2 mit 110,75 ha (228,98 ha) ein. Die Restriktion fünfter Ordnung bilden die Arbeitsgänge Stickstoffdüngung N2 und Pflanzenschutzmaßnahme 3 im APR2 mit jeweils 146,94 ha (228,00 ha). Der große Betrieb erreicht gegenüber dem kleinen Betrieb bei den Arbeitsgängen Pflügen, Stoppelbearbeitung (tief), den Arbeitsgängen zur Ernte und den Arbeitsgängen zur Aussaat den 1,95-fachen, den 1,99-fachen und den 1,88-fachen Umfang. Bei den Arbeitsgängen Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach) ist es das 2,27-fache des Umfangs und bei den Arbeitsgängen Stickstoffdüngung N2 und Pflanzenschutzmaßnahme 3 ist es das 1,96-fache des Umfangs.

Durch die Windauflage verringert sich der Umfang der Aussaat beim kleinen Betrieb ha um 25,72 ha von 63,99 ha auf 38,27. Beim großen Betrieb fällt die Reduktion um 44,65 ha von 120,23 ha auf 75,61 ha wesentlich größer aus. Wie Tabelle 46 zeigt, bleibt die Ordnung der Restriktionen durch die Windauflage erhalten. Auch der Verfahrensumfang ist ohne und mit Windauflage gleich. Sowohl beim großen als auch beim kleinen Betrieb ist eine Reduktion des Verfahrensumfanges durch die Windauflage unwahrscheinlich. Da aber die Abstände der Umfänge der Aussaat zu den Restriktionen erster und zweiter Ordnung beim kleinen Betrieb nur 14,85 ha betragen, ist eine Beschränkung in einzelnen Jahren vorstellbar. Unter der Annahme von überbetrieblichem Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz sowie von Lohnarbeiten während der Ernte kann die Aussaat den Verfahrensumfang trotzdem genuin beschränken.

Tabelle 46: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Winterweizen (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Winterweizen, wendend	Bodenprobe	Grunddüngung	Pflügen	Eggen mit Saatbettkombination	Säen mit Sämaschine	Unkrautbonitur	Pflanzenschutzmaßnahme 1	N _{min} -Probennahme	Bestandesbonitur 1	Stickstoffdüngung N1	Bestandesbonitur 2	Stickstoffdüngung N2	Pflanzenschutzmaßnahme 2	Pflanzenschutzmaßnahme 3	Bestandesbonitur 3	Stickstoffdüngung N3	Pflanzenschutzmaßnahme 4	Mähdrusch	Korntransport, Lagern und Trocknen	Kalk ab Feld streuen	Stoppelbearbeitung, flach	Stoppelbearbeitung, tief
Gießen, klein	11	11	1	5	3	3	3	7	13	8	14	6	9	6	14	12	10	2	2	4	4	1
Gießen, klein, Wind	11	11	1	5	3	3	3	7	13	8	14	6	9	6	14	12	10	2	2	4	4	1
Gießen, groß	10	10	1	6	3	3	3	11	11	9	12	5	7	5	12	13	8	2	2	4	4	1
Gießen, groß, Wind	10	10	1	6	3	3	3	11	11	9	12	5	7	5	12	13	8	2	2	4	4	1
Teterow, klein	9	9	2	6	3	3	3	8	13	5	5	7	7	11	14	12	10	1	1	4	4	2
Teterow, klein, Wind	9	9	2	6	3	3	3	8	13	5	5	7	7	11	14	12	10	1	1	4	4	2
Teterow, groß	10	10	2	6	3	3	3	11	11	7	7	5	5	9	12	13	8	1	1	4	4	2
Teterow, groß, Wind	10	10	2	6	3	3	3	11	11	7	7	5	5	9	12	13	8	1	1	4	4	2
Boltenhagen, klein	11	11	2	6	3	3	3	9	12	7	7	5	10	5	13	8	8	1	1	4	4	2
Boltenhagen, klein, Wind	11	11	2	6	3	3	3	9	12	7	7	5	10	5	13	8	8	1	1	4	4	2
Boltenhagen, groß	10	10	2	6	3	3	3	11	11	9	9	5	8	5	12	7	7	1	1	4	4	2
Boltenhagen, groß, Wind	10	10	2	6	3	3	3	11	11	9	9	5	8	5	12	7	7	1	1	4	4	2

4.7.2.2 Ordnung der Restriktionen Winterweizen nichtwendend

Tabelle 44 zeigt die Ergebnisse der Umfänge der einzelnen Arbeitsgänge sowie den Verfahrensumfang und Tabelle 47 zeigt die Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für das nichtwendende Anbauverfahren des Winterweizens. Das Anbauverfahren mit nichtwendender Bodenbearbeitung unterscheidet sich vom wendenden Anbauverfahren durch das Tiefgrubbern statt des Pflügens im SEP2 sowie das Säen mit Kreiselegge und Sämaschine, statt des Säens mit der Sämaschine im OKT2 (vgl. Tabelle 46 und Tabelle 47). Da die restlichen Zeiträume und Arbeitsgänge mit zugehörigen Umfängen denen des wendenden Anbauverfahrens entsprechen, wird folgend, mit Ausnahme von Gießen, auf eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse verzichtet und sich auf die Unterschiede zu dem wendenden Anbauverfahren beschränkt. Wo es der Verständlichkeit dient, erfolgt die Darstellung aber ausführlicher.

Gießen

Für den kleinen Betrieb ergibt sich die erste Restriktion mit 51,74 ha im SEP2 für das Tiefgrubbern und die Stoppelbearbeitung (tief). Die zweite Restriktion tritt im OKT2 zur Aussaat mit 57,11 ha Umfang ein. Beim großen Betrieb hingegen liegt die erste Restriktion mit 100,93 ha bei den Arbeitsgängen zur Aussaat und die zweite Restriktion mit 113,04 ha beim Tiefgrubbern und der Stoppelbearbeitung (tief). Die dritte Restriktion erfolgt bei beiden Betriebstypen mit 61,26 ha (großer Betrieb: 119,30 ha) im AUG1 zur Ernte. An vierter Stelle schränken auch hier die Arbeiten Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach) im AUG2 das Anbauverfahren mit 110,05 ha (275,13 ha) ein. Die Restriktion fünfter Ordnung bilden die Arbeitsgänge Stickstoffdüngung N2 und Pflanzenschutzmaßnahme 3 im APR2 mit jeweils 182,86 ha (358,40 ha). Die Ordnung der restlichen Restriktionen, deren Umfänge und die Unterschiede zwischen kleinem und großem Betrieb gleichen denen des wendenden Anbauverfahrens, wobei beim nichtwendenden Anbauverfahren durch den geringeren Arbeitszeitbedarf des Tiefgrubberns gegenüber dem Pflügen ein größerer Umfang im SEP2 realisierbar ist. Zur Aussaat wird beim nichtwendenden Anbauverfahren jedoch mit 51,74 ha (113,04 ha) gegenüber dem wendenden Anbauverfahren mit 79,63 ha (149,66 ha) ein geringerer Umfang erreicht.

Auch wenn sich durch die Windauflage keine Änderungen bei dem Umfang der Aussaat sowie dem Verfahrensumfang ergeben, ist der Verfahrensumfang des großen Betriebes ohne und mit Windauflage durch die Arbeitsgänge der Aussaat genuin eingeschränkt. Auch beim kleinen

Betrieb ist der Abstand der Umfänge zwischen den Arbeitsgängen der Aussaat und den Arbeitsgängen Tiefgrubbern und Stoppelbearbeitung (tief) mit 5,37 ha gering, sodass hier in einzelnen Jahren eine Restriktion des Verfahrensumfanges durch die Aussaat nicht auszuschließen ist.

Teterow

Die erste Restriktion ergibt sich bei beiden Betriebstypen mit 36,94 ha (71,93 ha) durch die Erntearbeiten im AUG1, die zweite Restriktion bei beiden im OKT2 zur Aussaat mit 43,85 ha (77,50 ha), die dritte Restriktion bei beiden im SEP2 durch die Arbeitsgänge Tiefgrubbern und Stoppelbearbeitung (tief) mit 51,74 ha (113,04 ha) und die vierte Restriktion bei beiden im AUG2 durch Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach) mit 110,05 ha (275,13 ha). Der mögliche Verfahrensumfang entspricht in Teterow mit 36,94 ha (71,93 ha) genau dem des wendenden Anbauverfahrens.

Die Windauflage führt zu deutlichen Abnahmen bei den Umfängen der Aussaat im OKT2. Für den kleinen Betrieb sinken die Umfänge um 18,85 ha von 43,85 ha auf 25,00 ha und für den großen Betrieb sinken sie um 32,57 ha von 77,50 ha auf 44,93 ha. Durch die Windauflage sind die Arbeitsgänge zur Aussaat beim großen und kleinen Betriebstyp genuin beschränkend und führen in erster Ordnung zur Restriktion des Anbauverfahrens. Die Arbeitsgänge zur Aussaat bilden mit Windauflage für beide Betriebstypen die Restriktion zweiter Ordnung. Bereits ohne Windauflage kann in Teterow nicht ausgeschlossen werden, dass die Aussaat in einzelnen Jahren zur Beschränkung des Verfahrensumfanges führen kann, da der Abstand der möglichen Umfänge zwischen den Arbeitsgängen zur Aussaat und den Arbeitsgängen zur Ernte mit 6,91 ha beim kleinen Betrieb und mit 5,57 ha beim großen Betrieb äußerst gering sind. Unter der Gegebenheit von überbetrieblichem Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz sowie von Lohnarbeiten während der Ernte kann die Aussaat den Verfahrensumfang genuin beschränken. Mit Windauflage beschränkt die Aussaat den Verfahrensumfang, welcher deshalb beim kleinen Betrieb um 11,94 ha von 36,94 ha auf 25,00 ha und beim großen Betrieb um 27,00 ha von 71,93 ha auf 44,93 ha sinkt.

Boltenhagen

Die erste Restriktion ergibt sich bei beiden Betriebstypen mit 23,42 ha (45,61 ha) durch die Erntearbeiten im AUG1, die zweite mit 45,89 ha (81,10 ha) im OKT2 zur Aussaat, die dritte mit 48,56 ha (106,09 ha) im SEP2 durch Tiefgrubbern und Stoppelbearbeitung (tief) und die vierte mit 100,75 ha (251,88 ha) im AUG2 durch Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach). Der mögliche Verfahrensumfang entspricht in Boltenhagen mit 23,42 ha (45,61 ha) genau dem des wendenden Anbauverfahrens.

Durch die Windauflage sinken die Umfänge zur Aussaat deutlich, beim kleinen Betrieb um 20,89 ha von 48,56 ha auf 25,00 ha und beim großen Betrieb um 36,17 ha von 81,10 ha auf 44,93 ha. Beim großen Betrieb verschiebt sich dadurch die Ordnung der Restriktionen, sodass hier die Aussaat den Verfahrensumfang direkt beschränkt und dieser um 0,69 ha von 45,61 ha auf 44,93 ha sinkt. Beim kleinen Betrieb führt die Windauflage zu keinen Veränderungen bei der Ordnung der Restriktionen.

Ohne Windauflage beträgt der Abstand der Arbeitsgänge der Aussaat zu den Arbeitsgängen der Ernte, welche den Verfahrensumfang genuin beschränken, 22,46 ha beim kleinen Betrieb und 35,49 ha beim großen Betrieb. Unter der Gegebenheit von überbetrieblichem Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz sowie von Lohnarbeiten während der Ernte ist eine genuine Beschränkung des Verfahrensumfangs durch die Aussaat dennoch denkbar. Durch die Windauflage beschränkt die Aussaat in jedem Fall den Verfahrensumfang des großen Betriebs, welcher um 0,69 ha von 45,61 ha auf 44,93 ha leicht abnimmt. Beim kleinen Betrieb sinkt der Abstand der Umfänge zwischen den Arbeitsgängen der Aussaat und den Arbeitsgängen der Ernte und beträgt mit Windauflage nur noch 1,58 ha, was auch ohne postulierten überbetrieblichen Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz sowie Lohnarbeiten zur Ernte eine Restriktion des Verfahrensumfanges durch die Aussaat in einzelnen Jahren wahrscheinlich macht.

Tabelle 47: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Winterweizen (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Winterweizen, nichtwendend	Bodenprobe	Grunddüngung	Tiefgrubbern	Säen mit Kreiselegge und Sämaschine	Unkrautbonitur	Pflanzenschutzmaßnahme 1	N _{min} -Probenahme	Bestandesbonitur 1	Stickstoffdüngung N1	Bestandesbonitur 2	Stickstoffdüngung N2	Pflanzenschutzmaßnahme 2	Pflanzenschutzmaßnahme 3	Bestandesbonitur 3	Stickstoffdüngung N3	Pflanzenschutzmaßnahme 4	Mähdrusch	Korntransport, Lagern und Trocknen	Kalk ab Feld streuen	Stoppelbearbeitung, flach	Stoppelbearbeitung, tief
Gießen, klein	10	10	1	2	2	2	6	12	7	13	5	8	5	13	11	9	3	3	4	4	1
Gießen, klein, Wind	10	10	1	2	2	2	6	12	7	13	5	8	5	13	11	9	3	3	4	4	1
Gießen, groß	9	9	2	1	1	1	10	10	8	11	5	6	5	11	12	7	3	3	4	4	2
Gießen, groß, Wind	9	9	2	1	1	1	10	10	8	11	5	6	5	11	12	7	3	3	4	4	2
Teterow, klein	8	8	3	2	2	2	7	12	5	5	6	6	10	13	11	9	1	1	4	4	3
Teterow, klein, Wind	8	8	3	1	1	1	7	12	5	5	6	6	10	13	11	9	2	2	4	4	3
Teterow, groß	9	9	3	2	2	2	10	10	6	6	5	5	8	11	12	7	1	1	4	4	3
Teterow, groß, Wind	9	9	3	1	1	1	10	10	6	6	5	5	8	11	12	7	2	2	4	4	3
Boltenhagen, klein	10	10	3	2	2	2	8	11	6	6	5	9	5	12	7	7	1	1	4	4	3
Boltenhagen, klein, Wind	10	10	3	2	2	2	8	11	6	6	5	9	5	12	7	7	1	1	4	4	3
Boltenhagen, groß	9	9	3	2	2	2	10	10	8	8	5	7	5	11	6	6	1	1	4	4	3
Boltenhagen, groß, Wind	9	9	3	1	1	1	10	10	8	8	5	7	5	11	6	6	2	2	4	4	3

4.7.2.3 Ordnung der Restriktionen Winterweizen Direktsaat

Beim direkten Anbauverfahren (Direktsaat) (siehe Tabelle 45 und Tabelle 48) entfallen gegenüber den beiden anderen Anbauverfahren die Arbeitsgänge zur Bodenbearbeitung im OKT1 (Eggen mit Saatbettkombination), im SEP2 (Pflügen beziehungsweise Tiefgrubbern und Stoppelbearbeitung (tief)) und im AUG2 (Stoppelbearbeitung (flach)). Insgesamt wird beim direkten Anbauverfahren mit der zusätzlichen Pflanzenschutzmaßnahme im OKT1 eine Pflanzenschutzmaßnahme mehr gegenüber den beiden anderen Anbauverfahren eingesetzt. Die restlichen Arbeitsgänge, die dazugehörigen Zeiträume und Umfänge gleichen den beiden anderen Anbauverfahren, sodass hier mit Ausnahme von Gießen auf eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse verzichtet und sich auf die für die Forschungsfragen relevanten Unterschiede zu den beiden anderen Anbauverfahren beschränkt wird. Wo es der Verständlichkeit dient, erfolgt die Darstellung ausführlicher.

Gießen

Da die Arbeitsgänge zur Bodenbearbeitung im SEP2 entfallen, ergibt sich die erste Restriktion mit 61,26 ha (großer Betrieb: 119,30 ha) im AUG1 zur Ernte. Beim kleinen und großen Betrieb tritt die zweite Restriktion mit 88,57 ha (140,00 ha) im OKT2 durch die Arbeitsgänge zur Aussaat ein. Beim kleinen und großen Betrieb bilden Stickstoffgabe N2 und Pflanzenschutzmaßnahme 4 im APR2 mit 182,86 ha (358,40 ha) die dritte Restriktion. Die Restriktion vierter Ordnung liegt beim kleinen Betrieb mit 224,00 ha bei der $N_{\min}$ -Probennahme und beim großen Betrieb mit 527,06 ha bei der Pflanzenschutzmaßnahme 3. Durch das Wegfallen der Bodenbearbeitungsarbeitsgänge im SEP2 sind beim direkten Anbauverfahren mit 61,26 ha (119,30 ha) deutlich höhere Verfahrensumfänge als beim wendenden (37,01 ha (73,76 ha)) und beim nichtwendenden Anbauverfahren möglich (51,74 ha (100,93 ha)). Während Säen mit der Direktsaatmaschine beim kleinen Betrieb den geringsten Arbeitszeitbedarf der Aussaat aller Anbauverfahren hat, fällt die Arbeitszeiterparnis beim großen gegenüber dem kleinen Betrieb beim Säen mit Sämaschine und beim Säen mit Kreiselegge und Sämaschine relativ größer als beim Säen mit der Direktsaatmaschine aus. Daraus ergibt sich, dass für den kleinen Betrieb bei den Arbeitsgängen zur Aussaat im OKT2 das direkte Anbauverfahren mit 88,57 ha deutlich höhere Umfänge erreicht als das wendende Anbauverfahren mit 79,63 ha und das

nichtwendende Anbauverfahren mit 57,11 ha. Der große Betrieb erreicht hier mit dem direkten Anbauverfahren 140,00 ha und damit weniger als mit dem wendenden Anbauverfahren, welches 149,66 ha erreicht, aber mehr als das nichtwendende Anbauverfahren, welches 100,93 ha erreicht.

Die Einführung der Windauflage führt zu keinerlei Veränderungen. Der Abstand des Umfanges der Aussaat zu den Arbeitsgängen der Ernte, welche den Verfahrensumfang in erster Ordnung beschränken, betragen 27,31 ha für den kleinen Betrieb und 20,70 ha für den großen Betrieb, sodass eine Beschränkung des Verfahrensumfanges durch die Aussaat unwahrscheinlich ist. Unter der Annahme von überbetrieblichem Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz sowie von Lohnarbeiten während der Ernte kann die Aussaat den Verfahrensumfang genuin beschränken, wobei die Beschränkung beim großen Betrieb eher eintreten würde als beim kleinen.

Teterow

Die Erntearbeiten im AUG1 limitieren den Verfahrensumfang mit 36,94 ha (71,93 ha) in erster Ordnung. Die zweite Restriktion erfolgt durch die Aussaat im OKT2, welche im Umfang von 68,01 ha (107,50 ha) durchführbar ist. Beim kleinen Betrieb liegt die dritte Restriktion mit 162,75 ha bei der Stickstoffdüngung N1 und der Bestandesbonitur 2 im MRZ1, während sie beim großen Betrieb mit 332,80 ha bei der Stickstoffdüngung N2 und der Pflanzenschutzmaßnahme 3 im APR2 eintritt. In vierter Ordnung schränken den kleinen Betrieb die Arbeitsgänge Stickstoffdüngung N2 und Pflanzenschutzmaßnahme 3 mit 169,80 ha im APR2 ein, während dies beim großen Betrieb im MRZ1 mit 465,00 ha für die Stickstoffdüngung N1 und die Bestandesbonitur 2 im MRZ1 der Fall ist. Die Ordnung der Restriktionen in Bezug auf die Aussaat entspricht beim direkten Anbauverfahren dem nichtwendenden Anbauverfahren, da die Aussaat bei beiden Anbauverfahren den Verfahrensumfang in zweiter Ordnung begrenzt, während dies beim wendenden Anbauverfahren in dritter Ordnung erfolgt. Der Verfahrensumfang entspricht in Teterow mit 36,94 ha (71,93 ha) genau dem der beiden anderen Anbauverfahren (vgl. Tabelle 43, Tabelle 44 und Tabelle 45).

Die Windauflage führt zu deutlichen Abnahmen bei den Umfängen der Aussaat im OKT2. Beim kleinen Betrieb sinken die Umfänge um 23,72 ha von 68,01 ha auf 44,29 ha und beim großen

Betrieb sinken sie um 38,61 ha von 107,50 ha auf 68,89 ha. Während durch die Windauflage die Ordnung der Restriktionen beim kleinen Betrieb erhalten bleibt, rücken die Arbeitsgänge zur Aussaat beim großen Betrieb von der zweiten auf die erste Ordnung vor, sodass sie hier den Verfahrensumfang um 3,04 ha von 71,93 ha auf 68,89 ha reduzieren.

Ohne Windauflage ist der Abstand des Umfangs der Restriktion erster und zweiter Ordnung mit 31,07 ha (35,57 ha) relativ groß, sodass eine Einschränkung des Verfahrensumfanges unwahrscheinlich ist. Dies gilt nicht für den kleinen Betrieb mit Windauflage, da hier der Abstand zwischen erster und zweiter Ordnung der Restriktion nur noch 7,35 ha beträgt. Unter Annahme von überbetrieblichem Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz sowie von Lohnarbeiten während der Ernte kann die Aussaat den Verfahrensumfang trotzdem genuin beschränken, wobei die Beschränkung beim kleinen Betrieb eher eintreten würde als beim großen.

Boltenhagen

Auch hier wird der Verfahrensumfang in erster Ordnung durch die Erntearbeiten im AUG1 mit 23,42 ha (45,61 ha) limitiert. Die zweite Restriktion erfolgt mit 71,17 ha (112,50 ha) im OKT2 zur Aussaat. Danach folgt an dritter Stelle die Stickstoffdüngung N2 und die Pflanzenschutzmaßnahme 4 mit 146,94 ha (288,00 ha) im MRZ1. In vierter Ordnung wird der kleine Betrieb durch die Stickstoffdüngung N1 und die Bestandesbonitur 2 mit 162,75 ha im MRZ1 eingeschränkt, während die Restriktion vierter Ordnung beim großen Betrieb durch die Stickstoffdüngung N3 und die Pflanzenschutzmaßnahme 5 mit 366,67 ha im JUN1 erfolgt. Die Ordnung der Restriktionen in Bezug auf die Aussaat entspricht beim direkten Anbauverfahren dem nichtwendenden Anbauverfahren, da die Aussaat bei beiden Anbauverfahren den Verfahrensumfang in zweiter Ordnung begrenzen, während die Begrenzung beim wendenden Anbauverfahren in dritter Ordnung erfolgt. Der Verfahrensumfang entspricht in Boltenhagen mit 23,42 ha (45,61 ha) genau denen der beiden anderen Anbauverfahren (vgl. Tabelle 43, Tabelle 44 und Tabelle 45).

Ohne Windauflage ist der Abstand des Umfangs der Restriktion erster und zweiter Ordnung mit 47,75 ha (66,89 ha) relativ groß, sodass eine Einschränkung des Verfahrensumfanges nicht gegeben ist. Unter der Annahme von überbetrieblichem Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz

sowie von Lohnarbeiten während der Ernte kann die Aussaat den Verfahrensumfang trotzdem genuin beschränken, wobei die Beschränkung beim kleinen Betrieb eher eintreten würde als beim großen.

Die Windauflage führt zu einer deutlichen Reduktion der Aussaatumfänge im OKT2. Beim kleinen Betrieb sinken die Umfänge um 26,88 ha von 71,17 ha auf 44,29 ha und beim großen Betrieb sinken sie um 43,61 ha von 112,50 ha auf 68,89 ha. Die Ordnung der Restriktionen bleibt durch die Windauflage unverändert. Auch der Abstand des Umfangs der Restriktion erster und zweiter Ordnung ist mit 20,87 ha (23,28 ha) relativ groß, sodass eine Einschränkung des Verfahrensumfanges weiterhin unwahrscheinlich ist. Aber auch hier ist es unter der Annahme von überbetrieblichem Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz sowie von Lohnarbeiten während der Ernte wahrscheinlich, dass die Aussaat den Verfahrensumfang genuin beschränkt.

Tabelle 48: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Winterweizen (Direktsaat), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Winterweizen, Direktsaat	Bodenprobe	Grunddüngung	Pflanzenschutzmaßnahme 1	Säen mit Direktsaatmaschine	Unkrautbonitur	Pflanzenschutzmaßnahme 2	N _{min} -Probennahme	Bestandesbonitur 1	Stickstoffdüngung N1	Bestandesbonitur 2	Stickstoffdüngung N2	Pflanzenschutzmaßnahme 3	Pflanzenschutzmaßnahme 4	Bestandesbonitur 3	Stickstoffdüngung N3	Pflanzenschutzmaßnahme 5	Mähdrusch	Korntransport, Lagern und Trocknen	Kalk ab Feld streuen
Gießen, klein	9	9	7	2	2	2	4	12	5	13	3	6	3	13	10	8	1	1	11
Gießen, klein, Wind	9	9	7	2	2	2	4	12	5	13	3	6	3	13	10	8	1	1	11
Gießen, groß	8	8	5	2	2	2	9	9	7	10	3	4	3	10	11	6	1	1	12
Gießen, groß, Wind	8	8	5	2	2	2	9	9	7	10	3	4	3	10	11	6	1	1	12
Teterow, klein	6	6	8	2	2	2	5	12	3	3	4	4	9	13	10	7	1	1	11
Teterow, klein, Wind	6	6	8	2	2	2	5	12	3	3	4	4	9	13	10	7	1	1	11
Teterow, groß	8	8	6	2	2	2	9	9	4	4	3	3	7	10	11	5	1	1	12
Teterow, groß, Wind	8	8	6	1	1	1	9	9	4	4	3	3	7	10	11	5	2	2	12
Boltenhagen, klein	8	8	9	2	2	2	6	11	4	4	3	7	3	12	5	5	1	1	10
Boltenhagen, klein, Wind	8	8	9	2	2	2	6	11	4	4	3	7	3	12	5	5	1	1	10
Boltenhagen, groß	8	8	7	2	2	2	9	9	6	6	3	5	3	10	4	4	1	1	11
Boltenhagen, groß, Wind	8	8	7	2	2	2	9	9	6	6	3	5	3	10	4	4	1	1	11

4.8 Vergleich und Bewertung der Anbauverfahren hinsichtlich des möglichen Umfangs und der Aussaat für alle untersuchten Kulturen

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse zu den möglichen Umfängen der verschiedenen Anbauverfahren aller Anbaukulturen für die drei Stationen Gießen, Teterow und Boltenhagen in vereinfachter Form dargestellt. Die Ergebnisse beruhen dabei auf der einschränkenden Annahme einer Arbeitskraft (siehe Kapitel 3.6). Insbesondere stehen hier neben dem Verfahrensumfang die Aussaat, deren Umfang und Ordnungsnummer bei den Restriktionen im Zentrum der Betrachtung. Ebenfalls werden aufgrund der Überlegungen in Kapitel 3.11 die Arbeitsgänge zur Ernte mit dargestellt. Auf eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse mit den restlichen Arbeitsgängen wird an dieser Stelle verzichtet und auf den Anhang (siehe Tabelle 127 bis Tabelle 144) verwiesen. Zur Einordnung und zum Verständnis der Ergebnisse des Anhangs werden die Kapitel 4.6 und 4.7 empfohlen. Die im folgenden Kapitel genannten Halbmonate, in denen die Arbeitsgänge liegen, und sonstige, nicht in den folgend aufgeführten komprimierten Tabellen enthaltene Daten, sind in den Arbeitstableaus auf der beigelegten CD-ROM beziehungsweise im ergänzenden Datensatz auf JLUpub (<https://jlupub.ub.uni-giessen.de/handle/jlupub/21717>) enthalten. Ergänzend sind die Tabellen zu den Umfängen der Arbeitsgänge (siehe Tabelle 127 bis Tabelle 135) sowie den Tabellen mit der Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge (siehe Tabelle 136 bis Tabelle 144) im Anhang enthalten. Da der große Betrieb immer höhere Verfahrens-, Aussaat- und Ernteumfänge als der kleine Betrieb aufweist, erfolgen in diesem Kapitel dazu keine weiteren textlichen Erläuterungen. Im Folgenden erfolgt die Darstellung der Ergebnisse der großen Betriebe, wenn nicht textlich anders hervorgehoben, ebenfalls in Klammern.

4.8.1 Vergleich der Anbauverfahren Winterweizen

In Tabelle 49 sind die Ergebnisse zum Aussaat-, Ernte- und Verfahrensumfang sowie der Ordnung der Restriktionen für das wendende, das nichtwendende und das direkte Anbauverfahren (Direktsaat) des Winterweizens dargestellt. Bei den Anbauverfahren des Winterweizens umfassen die Arbeitsgänge zur Aussaat im OKT2 Aussaat, Unkrautbonitur und Pflanzenschutzmaßnahme 1. Die Arbeitsgänge zur Ernte im AUG1 umfassen den Mähdrusch sowie Korntransport, Lagern und Trocknen.

Gießen

In Gießen führt das direkte Anbauverfahren mit 61,26 ha (großer Betrieb: 119,30 ha) in allen Fällen zum höchsten Verfahrensumfang, gefolgt vom nichtwendenden Anbauverfahren mit 51,74 ha (100,93 ha) und dem wendenden Anbauverfahren mit 37,01 ha (73,76 ha). Bei den Umfängen zur Aussaat liegt der Nachteil mit 57,11 ha (100,93 ha) beim nichtwendenden Anbauverfahren. Das direkte Anbauverfahren erreicht hier 88,57 ha (140,00 ha), während das wendende Anbauverfahren zu 79,63 ha (149,66 ha) führt. Den höchsten Aussaatumfang erreicht der kleine Betrieb mit 88,57 ha mit dem direkten Anbauverfahren, gefolgt von 79,63 ha mit dem wendenden Anbauverfahren und von 57,11 ha mit dem nichtwendenden Anbauverfahren. Für den großen Betrieb liegt der Vorteil mit 149,66 ha beim wendenden Anbauverfahren. Das direkte Anbauverfahren erreicht 140,00 ha, während der Nachteil mit 100,93 ha beim nichtwendenden Anbauverfahren liegt.

Bei der Ordnung der Restriktionen und dem Abstand der Umfänge der Aussaat und dem Verfahrensumfang liegt der Vorteil beim wendenden Anbauverfahren, wo Abstand und Ordnungsnummer der Aussaat am höchsten sind. Der Nachteil liegt hier beim nichtwendenden Anbauverfahren, wo beim großen Betrieb der Verfahrensumfang durch die Aussaat bestimmt wird. Auch für den kleinen Betrieb ist mit einem Abstand von nur 5,37 ha zur Restriktion erster Ordnung eine Beschränkung des Verfahrensumfanges durch die Aussaat in einzelnen Jahren nicht auszuschließen.

Unter Außerachtlassung der Arbeitsgänge zur Ernte wirkt die Aussaat beim direkten Anbauverfahren limitierend auf den Verfahrensumfang, nichtsdestotrotz ist hier für beide Betriebstypen immer noch der höchste Verfahrensumfang realisierbar.

Teterow

Ohne Windaufgabe führen hier alle Anbauverfahren zum selben Verfahrensumfang von 36,94 ha (71,93 ha). Mit Windaufgabe sinkt der Verfahrensumfang beim nichtwendenden Anbauverfahren für beide Betriebstypen, und zwar um 11,94 ha beim kleinen und um 27,00 ha beim großen Betrieb. Beim direkten Anbauverfahren sinkt der Verfahrensumfang beim großen Betrieb um 3,04 ha, sodass mit Windaufgabe die höchsten Verfahrensumfänge für den

großen Betrieb mit dem wendenden Anbauverfahren, gefolgt vom direkten und dem nichtwendenden Anbauverfahren möglich sind. Beim kleinen Betrieb ergibt sich mit Windauflage für das wendende und das direkte Anbauverfahren derselbe Verfahrensumfang von 36,94 ha, sodass der Nachteil hier mit 25,00 ha beim nichtwendenden Anbauverfahren liegt.

Bei der Ordnung der Restriktionen liegt der Vorteil ohne Windauflage für die Aussaat mit der Ordnungsnummer 3 beim wendenden Anbauverfahren, gefolgt vom direkten und dem nichtwendenden Anbauverfahren, wo die Aussaat jeweils die Ordnungsnummer 2 einnimmt.

Den höchsten Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang liegt für den kleinen Betrieb mit 31,07 ha beim direkten Anbauverfahren und beim großen Betrieb mit 42,98 ha beim wendenden Anbauverfahren. Der Nachteil liegt hier mit 6,91 ha (5,57 ha) Abstand beim nichtwendenden Anbauverfahren. Durch den geringen Abstand ist hier eine Beschränkung des Verfahrensumfanges durch die Aussaat in einzelnen Jahren denkbar.

Mit Windauflage bleibt die Ordnung der Restriktionen beim wendenden Anbauverfahren erhalten, sodass hier weiterhin der Vorteil liegt. Beim direkten Anbauverfahren limitiert die Aussaat beim großen Betrieb den Verfahrensumfang. Der Nachteil liegt beim nichtwendenden Anbauverfahren, da hier bei beiden Betriebstypen die Aussaat den Verfahrensumfang limitiert. Aber auch beim wendenden Anbauverfahren ist der Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang mit 1,33 ha (3,68 ha) äußerst gering. Dies gilt auch für den kleinen betrieb beim direkten Anbauverfahren, wo der Abstand nur 7,35 ha beträgt. In beiden Fällen kann eine Limitation des Verfahrensumfanges durch die Aussaat in einzelnen Jahren nicht ausgeschlossen werden.

Unter Vernachlässigung der Arbeiten zur Ernte zeigt sich, dass die Aussaat beim nichtwendenden und direkten Anbauverfahren in allen Fällen zur Limitation des Verfahrensumfanges führt. Beim wendenden Anbauverfahren nehmen bei Außerachtlassung der Erntearbeiten das Pflügen und die Stoppelbearbeitung (tief) die Restriktion erster Ordnung ein. Nichtsdestotrotz ist hier aufgrund des geringen Abstandes zwischen Umfang zur Aussaat und dem Umfang zur Ernte eine Limitation durch die Aussaat in einzelnen Jahren nicht auszuschließen. Insgesamt führt unter Vernachlässigung der Arbeiten zur Ernte das direkte Anbauverfahren zu den höchsten Verfahrensumfängen, gefolgt vom nichtwendenden und dem wendenden Anbauverfahren.

Boltenhagen

Unter Vernachlässigung der Windauflage haben alle Anbauverfahren den gleichen Verfahrensumfang von 23,42 ha (45,61 ha). Durch die Windauflage sinkt der Verfahrensumfang lediglich für den großen Betrieb beim nichtwendenden Anbauverfahren um 0,68 ha von 45,61 ha auf 44,93 ha, sodass das nichtwendende Anbauverfahren in Boltenhagen in Bezug auf den Verfahrensumfang am schlechtesten abschneidet.

Bei der Ordnung der Restriktionen der Aussaat liegt der Vorteil beim wendenden Anbauverfahren, bei welchem die Aussaat die Ordnungsnummer 3 hat, gefolgt von nichtwendenden und direkten Anbauverfahren, wo die Aussaat die Ordnungsnummer 2 hat.

Beim Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang liegt der Vorteil für den kleinen Betrieb mit 47,75 ha beim direkten Anbauverfahren, während der Vorteil für den großen Betrieb mit 74,65 ha beim wendenden Anbauverfahren liegt. Die geringsten Abstände diesbezüglich ergeben sich mit 22,47 ha (35,49 ha) beim nichtwendenden Anbauverfahren.

Mit Windauflage schrumpfen die Abstände zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang bei allen Anbauverfahren, ohne dass sich Änderungen bezüglich deren Vorteil- und Nachteilhaftigkeit ergeben. Mit Windauflage beträgt dieser Abstand beim wendenden Anbauverfahren für den kleinen Betrieb nur noch 14,85 ha und beim nichtwendenden Anbauverfahren nur noch 1,58 ha, sodass eine Limitation durch die Aussaat in einzelnen Jahren nicht auszuschließen ist.

Unter Vernachlässigung der Arbeiten zur Ernte schränkt die Aussaat das nichtwendende und das direkte Anbauverfahren in allen Fällen ein. Beim wendenden Anbauverfahren kann in diesem Fall beim kleinen Betrieb eine Limitation eintreten, da der Abstand von Aussaat- und Verfahrensumfang weniger als 20 ha beträgt. Unter Vernachlässigung der Arbeiten zur Ernte führt das direkte Anbauverfahren zu den höchsten Verfahrensumfängen, gefolgt vom nichtwendenden und dem wendenden Anbauverfahren.

Tabelle 49: Vergleich der Anbauverfahren Winterweizen, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen
(Quelle: Eigene Berechnung)

Vergleich Anbauverfahren Winterweizen	Gießen					Teterow					Boltenhagen				
	Verfahrensumfang (ha)	Umfang Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfang Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte	Verfahrensumfang (ha)	Umfang Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfang Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte	Verfahrensumfang (ha)	Umfang Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfang Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte
wendend, klein	37,01	79,63	3	61,26	2	36,94	61,15	3	36,94	1	23,42	63,99	3	23,42	1
wendend, klein, Wind	37,01	79,63	3	61,26	2	36,94	38,27	3	36,94	1	23,42	38,27	3	23,42	1
wendend, groß	73,76	149,66	3	119,30	2	71,93	114,91	3	71,93	1	45,61	120,26	3	45,61	1
wendend, groß, Wind	73,76	149,66	3	119,30	2	71,93	75,61	3	71,93	1	45,61	75,61	3	45,61	1
nichtwendend, klein	51,74	57,11	2	61,26	3	36,94	43,85	2	36,94	1	23,42	45,89	2	23,42	1
nichtwendend, klein, Wind	51,74	57,11	2	61,26	3	25,00	25,00	1	36,94	2	23,42	25,00	2	23,42	1
nichtwendend, groß	100,93	100,93	1	119,30	3	71,93	77,50	2	71,93	1	45,61	81,10	2	45,61	1
nichtwendend, groß, Wind	100,93	100,93	1	119,30	3	44,93	44,93	1	71,93	2	44,93	44,93	1	45,61	2
Direktsaat, klein	61,26	88,57	2	61,26	1	36,94	68,01	2	36,94	1	23,42	71,17	2	23,42	1
Direktsaat, klein, Wind	61,26	88,57	2	61,26	1	36,94	44,29	2	36,94	1	23,42	44,29	2	23,42	1
Direktsaat, groß	119,30	140,00	2	119,30	1	71,93	107,50	2	71,93	1	45,61	112,50	2	45,61	1
Direktsaat, groß, Wind	119,30	140,00	2	119,30	1	68,89	68,89	1	71,93	2	45,61	68,89	2	45,61	1

4.8.2 Vergleich der Anbauverfahren Sommergerste

In Tabelle 50 sind die Ergebnisse zum Aussaat-, Ernte- und Verfahrensumfang sowie der Ordnung der Restriktionen für das wendende, das nichtwendende und das direkte Anbauverfahren (Direktsaat) der Sommergerste dargestellt. Bei den Anbauverfahren der Sommergerste umfassen die Arbeitsgänge zur Aussaat im MRZ2 Aussaat und Mineraldünger 2 ausbringen. Die Arbeitsgänge zur Ernte im JUL2 umfassen den Mähdrusch sowie Korntransport, Lagern und Trocknen.

Gießen

In Gießen ermöglicht das direkte Anbauverfahren mit 67,61 ha (großer Betrieb: 117,69 ha) den größten Verfahrensumfang. Es folgen das wendende Anbauverfahren mit 57,41 ha (111,86 ha) und das nichtwendende Anbauverfahren mit 43,53 ha (81,47 ha). Die Windauf-
lage führt zu keinen Veränderungen bei den Verfahrensumfängen. Auch bei der Ordnung der Restriktionen ergeben sich durch die Windauf-
lage keine Änderungen. Beim nichtwendenden und direkten Anbauverfahren bildet die Aussaat die Restriktion erster Ordnung, sodass diese den Verfahrensumfang bestimmt. Beim wendenden Anbauverfahren hingegen limitiert die Aussaat den Verfahrensumfang erst in zweiter Ordnung, wobei der Abstand zwischen dem Verfahrensumfang und dem Aussaatumfang mit 3,11 ha (15,24 ha) gering ist, sodass eine Einschränkung des Verfahrensumfangs nicht ausgeschlossen werden kann. Die Vernachlässigung der Erntearbeiten führt bezüglich der Aussaat zu keinen Veränderungen in Gießen.

Teterow

In Teterow liegt der höchste Verfahrensumfang für den kleinen Betrieb mit 34,63 ha beim direkten Anbauverfahren und für den großen Betrieb mit 65,10 ha beim wendenden Anbauverfahren. Das nichtwendende Anbauverfahren führt mit 22,29 ha (41,73 ha) zu den geringsten Verfahrensumfängen. Auch mit Windauf-
lage führt das direkte Anbauverfahren mit 22,14 ha für den kleinen Betrieb und das wendende Anbauverfahren mit 37,80 ha für großen Betrieb zum größten Verfahrensumfang. Die niedrigsten Verfahrensumfänge liegen mit Windauf-
lage mit 12,70 ha (22,46 ha) ebenfalls beim nichtwendenden Anbauverfahren. Bei allen Anbauverfahren limitiert die Aussaat ohne oder mit Windauf-
lage den Verfahrensumfang.

Boltenhagen

In Boltenhagen ergeben sich die höchsten Verfahrensumfänge mit jeweils 25,93 ha (50,91 ha) bei dem wendenden und dem direkten Anbauverfahren. Der Nachteil liegt hier beim nichtwendenden Anbauverfahren, wo nur 22,29 ha (41,73 ha) Verfahrensumfang realisierbar sind. Mit Windauflage liegt der Vorteil für den kleinen Betrieb mit 11,07 ha beim direkten Anbauverfahren und für den großen Betrieb mit 18,90 ha beim wendenden Anbauverfahren. Mit Windauflage liegt der Nachteil mit 6,35 ha (11,23 ha) Verfahrensumfang weiterhin beim nichtwendenden Anbauverfahren. Bei der Ordnung der Restriktionen nimmt die Aussaat beim wendenden Anbauverfahren die Restriktion dritter Ordnung ein, was verglichen mit der Restriktion zweiter Ordnung beim direkten Anbauverfahren von Vorteil ist. Der Nachteil liegt diesbezüglich beim nichtwendenden Anbauverfahren, bei welchem die Aussaat den Verfahrensumfang primär limitiert. Der Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang ist mit 5,07 ha (14,19 ha) beim wendenden Anbauverfahren gering, sodass hier eine Limitation des Verfahrensumfanges durch die Aussaat in einzelnen Jahren nicht auszuschließen ist. Mit Windauflage werden alle Anbauverfahren limitiert. Unter Vernachlässigung der Arbeiten zur Ernte wird das direkte Anbauverfahren auch ohne Windauflage durch die Aussaat limitiert. Durch den geringen Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang beim wendenden Anbauverfahren von 5,07 ha (14,19 ha) ist unter Vernachlässigung der Erntearbeiten ebenfalls eine Limitation des Verfahrensumfanges in einzelnen Jahren ebenfalls nicht auszuschließen.

Tabelle 50: Vergleich der Anbauverfahren Sommergerste, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen
(Quelle: Eigene Berechnung)

Vergleich Anbauverfahren Sommergerste	Gießen					Teterow					Boltenhagen				
	Verfahrensumfang (ha)	Umfang Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfang Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte	Verfahrensumfang (ha)	Umfang Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfang Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte	Verfahrensumfang (ha)	Umfang Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfang Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte
wendend, klein	57,41	60,52	2	71,30	3	31,00	31,00	1	46,30	3	25,93	31,00	3	25,93	1
wendend, klein, Wind	57,41	60,52	2	71,30	3	19,14	19,14	1	46,30	3	9,57	9,57	1	25,93	2
wendend, groß	111,86	127,10	2	140,00	3	65,10	65,10	1	90,91	2	50,91	65,10	3	50,91	1
wendend, groß, Wind	111,86	127,10	2	140,00	3	37,80	37,80	1	90,91	2	18,90	18,90	1	50,91	2
nichtwendend, klein	43,53	43,53	1	71,30	2	22,29	22,29	1	46,30	2	22,29	22,29	1	25,93	2
nichtwendend, klein, Wind	43,53	43,53	1	71,30	2	12,70	12,70	1	46,30	2	6,35	6,35	1	25,93	2
nichtwendend, groß	81,47	81,47	1	140,00	2	41,73	41,73	1	90,91	2	41,73	41,73	1	50,91	2
nichtwendend, groß, Wind	81,47	81,47	1	140,00	2	22,46	22,46	1	90,91	2	11,23	11,23	1	50,91	2
Direktsaat, klein	67,61	67,61	1	71,30	2	34,63	34,63	1	46,30	2	25,93	34,63	2	25,93	1
Direktsaat, klein, Wind	67,61	67,61	1	71,30	2	22,14	22,14	1	46,30	2	11,07	11,07	1	25,93	2
Direktsaat, groß	117,69	117,69	1	140,00	2	60,28	60,28	1	90,91	2	50,91	60,28	2	50,91	1
Direktsaat, groß, Wind	117,69	117,69	1	140,00	2	34,44	34,44	1	90,91	2	17,22	17,22	1	50,91	2

4.8.3 Vergleich der Anbauverfahren Mais

In Tabelle 51 sind die Ergebnisse zum Aussaat-, Ernte- und Verfahrensumfang sowie der Ordnung der Restriktionen für das wendende und nichtwendende Anbauverfahren für Mais dargestellt.

Bei den Anbauverfahren des Mais umfassen die Arbeitsgänge zur Aussaat für beide Anbauverfahren im APR1 die Einzelkornsaat und die Pflanzenschutzmaßnahme 1. Zur Ernte fallen die Arbeitsgänge Bodenprobe, Häckseln, Transport und Festfahren sowie Silo reinigen und mit Folie verschließen zusammen im SEP2 an. Im APR1 werden die Arbeitsgänge Gülle ausbringen und Eggen mit Saatbettkombination ausgeführt. Beim Mais führen die Anbauverfahren zu unterschiedlichen Ergebnissen beim Verfahrensumfang. Ebenfalls wirkt die Aussaat unter Berücksichtigung der Ernte und der Gülleausbringung sowie dem Eggen mit Saatbettkombination in keinem Fall limitierend in Bezug auf den Verfahrensumfang. Deswegen erfolgt hier zunächst die Beschreibung der Ordnung der Restriktionen und der Aussaat der beiden Anbauverfahren. Danach folgen die Ergebnisse zum Vergleich der Anbauverfahren der drei Stationen.

Wendendes Anbauverfahren

Für den kleinen Betrieb erfolgt die Limitation erster Ordnung ohne und mit Windauflage immer im APR1 durch die Gülleausbringung und das Eggen mit Saatbettkombination. Die Restriktion zweiter Ordnung erfolgt immer durch die Erntearbeiten im SEP2. An dritter Stelle limitiert je nach Standort und Berücksichtigung der Windauflage entweder das Pflügen im OKT2 oder das Eggen mit Federzinkenegge sowie die $N_{\min}$ -Probenahme im MRZ2 oder die Arbeitsgänge zur Aussaat im APR2. Für den großen Betrieb erfolgt die Limitation erster Ordnung ohne und mit Windauflage immer durch die Erntearbeiten im SEP2. Die nächste Limitation erfolgt durch die Gülleausbringung und das Eggen mit Saatbettkombination im APR1 und danach durch das Pflügen im OKT2. Erst an vierter Stelle limitieren je nach Station und Berücksichtigung der Windauflage die Arbeitsgänge zur Aussaat im APR2 oder das Eggen mit Federzinkenegge und die $N_{\min}$ -Probenahme im MRZ2 den Verfahrensumfang

Nichtwendendes Anbauverfahren

Beim kleinen Betrieb erfolgt die Limitation erster Ordnung ohne und mit Windauflage immer durch die Gülleausbringung und das Eggen mit Saatbettkombination im APR1. Die zweite und dritte Restriktion erfolgt immer durch die Erntearbeiten im SEP2 und die Arbeitsgänge zur Aussaat im APR2. Die Limitation des Verfahrensumfangs des großen Betriebs erfolgt primär durch die Erntearbeiten im SEP2. Die Ordnung zweiter Restriktion erfolgt durch die Gülleausbringung sowie das Eggen mit Federzinkenegge im APR1. An dritter Stelle folgen je nach Station und Berücksichtigung der Windauflage die Arbeitsgänge zur Aussaat im APR2 oder das Tiefgrubbern im OKT2.

Unter Nichtberücksichtigung der Gülleausbringung besitzen die Anbauverfahren alle denselben Verfahrensumfang, da die Erntearbeiten dann immer die Restriktion erster Ordnung bilden.

Gießen

In Gießen entsprechen alle Ergebnisse ohne Windauflage den Ergebnissen mit Windauflage. Beim Verfahrensumfang liegt der Vorteil für den kleinen Betrieb mit 35,22 ha beim wendenden Anbauverfahren, während der Verfahrensumfang beim großen Betrieb bei beiden Anbauverfahren 59,06 ha beträgt. Der Verfahrensumfang des kleinen Betriebs beträgt beim nichtwendenden Anbauverfahren 29,71 ha. Bei der Ordnung der Restriktionen nimmt die Aussaat beim wendenden Anbauverfahren die vierte Ordnung und beim nichtwendenden Anbauverfahren die dritte Ordnung ein, sodass diesbezüglich der Vorteil beim wendenden Anbauverfahren liegt.

Nichtberücksichtigung von Gülleausbringung und Erntearbeiten in Gießen

Unter Vernachlässigung der Erntearbeiten und der Gülleausbringung limitiert die Aussaat bei beiden Anbauverfahren ohne und mit Windauflage an zweiter Stelle den Verfahrensumfang. Beim nichtwendenden Anbauverfahren bildet das Eggen mit der Kreiselegge mit 76,58 ha (großer Betrieb: 146,89 ha) die Restriktion erster Ordnung, während beim wendenden Anbauverfahren das Pflügen mit 57,41 ha (111,86 ha) den Verfahrensumfang limitiert, sodass der

Vorteil beim Verfahrensumfang beim nichtwendenden Anbauverfahren liegt. Beim wendenden Anbauverfahren beträgt der Abstand zwischen Verfahrens- und Aussaatumfang 25,55 ha (91,78 ha) während er beim nichtwendenden Anbauverfahren nur 7,28 ha (56,75 ha) beträgt, sodass hier für den kleinen Betrieb eine Einschränkung des Verfahrensumfanges durch die Aussaat in einzelnen Jahren nicht auszuschließen ist.

Teterow

Der Verfahrensumfang ist ohne und mit Windauflage derselbe. Für den großen Betrieb beträgt er bei beiden Anbauverfahren 59,06 ha. Beim kleinen Betrieb hat das wendende Anbauverfahren mit 35,22 ha gegenüber dem nichtwendenden Anbauverfahren mit 29,71 ha den Vorteil beim Verfahrensumfang. Beim wendenden Anbauverfahren limitiert die Aussaat den Verfahrensumfang für den kleinen Betrieb an fünfter und für den großen Betrieb an sechster Stelle und damit später als beim nichtwendenden Anbauverfahren, bei welchem die Limitation des Verfahrensumfanges durch die Aussaat für den kleinen Betrieb bereits an dritter Stelle und für den großen Betrieb bereits an vierter Stelle eintritt, sodass das wendende Anbauverfahren im Vorteil ist. Während der Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang beim großen Betrieb bei beiden Anbauverfahren derselbe ist, hat das nichtwendende Anbauverfahren beim kleinen Betrieb mit einem Abstand von 60,66 ha ohne Windauflage und 32,29 ha mit Windauflage einen Vorteil gegenüber dem wendenden Anbauverfahren, bei welchem der Abstand ohne Windauflage 55,15 ha und mit Windauflage 26,78 ha beträgt.

Nichtberücksichtigung von Gülleausbringung und Erntearbeiten in Teterow

Beim wendenden Anbauverfahren limitiert die Aussaat unter Vernachlässigung der Erntearbeiten und der Gülleausbringung beim kleinen Betriebstypen ohne und mit Windauflage sowie beim großen Betrieb mit Windauflage den Verfahrensumfang in dritter Ordnung. Beim großen Betrieb ohne Windauflage limitiert die Aussaat den Verfahrensumfang in vierter Ordnung. Der Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang beträgt beim kleinen Betrieb ohne Windauflage 46,38 ha und mit Windauflage 18,01 ha, sodass mit Windauflage eine Limitation durch die Aussaat in einzelnen Jahren nicht ausgeschlossen werden kann. Beim großen Betrieb beträgt der Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang 108,37 ha ohne und

70,25 ha mit Windauflage. Für den kleinen Betrieb und dem nichtwendenden Anbauverfahren limitiert die Aussaat ohne Windauflage den Verfahrensumfang unter Vernachlässigung der Erntearbeiten und der Gülleausbringung an zweiter Stelle. Mit Windauflage limitiert die Aussaat den Verfahrensumfang hingegen mit 62,00 ha primär. Für den großen Betrieb erfolgt die Restriktion durch die Aussaat mit Windauflage an dritter und ohne Windauflage an zweiter Stelle. Für den großen Betrieb beträgt der Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang ohne Windauflage 85,43 ha und 47,31 ha mit Windauflage. Da beim kleinen Betrieb der Abstand ohne Windauflage nur 19,26 ha beträgt, ist eine Limitation des Verfahrensumfanges durch die Aussaat beim nichtwendenden Anbauverfahren in einzelnen Jahren nicht ausgeschlossen.

Bei der Ordnung der Restriktion liegt der Vorteil mit den höheren Ordnungsnummern beim wendenden Anbauverfahren. Auch die Abstände zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang sind hier höher. Das nichtwendende Anbauverfahren erreicht allerdings die höheren Verfahrensumfänge.

Boltenhagen

Der Verfahrensumfang ist ohne und mit Windauflage gleich. Für den großen Betrieb beträgt er bei beiden Anbauverfahren 59,06 ha. Beim kleinen Betrieb hat das wendende Anbauverfahren mit 35,22 ha gegenüber dem nichtwendenden Anbauverfahren mit 29,71 ha einen Vorteil bezüglich des Verfahrensumfanges. Beim wendenden Anbauverfahren bildet die Aussaat ohne Windauflage bei beiden Betriebstypen die Restriktion fünfter Ordnung. Mit Windauflage bildet die Aussaat beim kleinen Betrieb die Restriktion dritter und beim großen Betrieb die Restriktion vierter Ordnung. Beim nichtwendenden Anbauverfahren limitiert die Aussaat den Verfahrensumfang immer in dritter Ordnung. Bei der Ordnung der Restriktionen ist das wendende Anbauverfahren hinsichtlich einer Limitation durch die Aussaat resilienter als das nichtwendende Anbauverfahren. Die Abstände zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang sind hingegen beim nichtwendenden Anbauverfahren mit 36,96 ha (104,58 ha) ohne Windauflage und 10,29 ha (59,46 ha) mit Windauflage größer oder gleich dem wendenden Anbauverfahren, wo der Abstand ohne Windauflage 31,45 ha (104,58 ha) und mit Windauflage

4,78 ha (59,46 ha) beträgt. Beim kleinen Betrieb kann bei beiden Anbauverfahren eine Limitation des Verfahrensumfanges in einzelnen Jahren aufgrund des geringen Abstands zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang nicht ausgeschlossen werden.

Nichtberücksichtigung von Gülleausbringung und Erntearbeiten in Boltenhagen

Beim wendenden Anbauverfahren liegt unter Vernachlässigung der Erntearbeiten und der Gülleausbringung die Aussaat beim kleinen Betrieb ohne Windauflage an dritter Stelle der Ordnung der Restriktionen. Mit Windauflage wirkt die Aussaat direkt limitierend auf den Verfahrensumfang. Beim großen Betrieb limitiert die Aussaat den Verfahrensumfang ohne Windauflage an dritter Stelle und mit Windauflage an zweiter Stelle. Der Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang beträgt für den kleinen Betrieb ohne Windauflage 22,68 ha, für den großen Betrieb ohne Windauflage 59,77 ha und mit Windauflage 14,65 ha. Für den großen Betrieb ist mit Windauflage eine Limitation des Verfahrensumfanges in einzelnen Jahren nicht auszuschließen. Beim nichtwendenden Anbauverfahren limitiert die Aussaat unter Vernachlässigung der Erntearbeiten und der Gülleausbringung, mit Ausnahme des kleinen Betriebs mit Windauflage, den Verfahrensumfang an zweiter Stelle. Beim kleinen Betrieb mit Windauflage beschränkt die Aussaat den Verfahrensumfang mit 40,00 ha genuin. Der Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang beträgt für den kleinen Betrieb ohne Windauflage 10,60 ha und für den großen Betrieb 56,10 ha ohne und 10,98 ha mit Windauflage. Bei den Abständen von unter 20,00 ha ist eine Beschränkung des Verfahrensumfanges durch die Aussaat in einzelnen Jahren nicht auszuschließen.

Bezüglich der Ordnung der Restriktionen liegt der Vorteil bei der Aussaat beim nichtwendenden Anbauverfahren. Bezüglich des Abstands zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang liegt der Vorteil beim wendenden Anbauverfahren.

Tabelle 51: Vergleich der Anbauverfahren Mais, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Vergleich Anbauverfahren Mais	Gießen					Teterow					Boltenhagen				
	Verfahrensumfang (ha)	Umfang Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfang Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte	Verfahrensumfang (ha)	Umfang Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfang Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte	Verfahrensumfang (ha)	Umfang Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfang Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte
wendend, klein	35,22	82,96	4	39,16	2	35,22	90,37	5	39,16	2	35,22	66,67	5	39,16	2
wendend, klein, Wind	35,22	82,96	4	39,16	2	35,22	62,00	5	39,16	2	35,22	40,00	3	39,16	2
wendend, groß	59,06	203,64	4	59,06	1	59,06	221,82	6	59,06	1	59,06	163,64	5	59,06	1
wendend, groß, Wind	59,06	203,64	4	59,06	1	59,06	183,70	5	59,06	1	59,06	118,52	4	59,06	1
nichtwendend, klein	29,71	82,96	3	39,16	2	29,71	90,37	3	39,16	2	29,71	66,67	3	39,16	2
nichtwendend, klein, Wind	29,71	82,96	3	39,16	2	29,71	62,00	3	39,16	2	29,71	40,00	3	39,16	2
nichtwendend, groß	59,06	203,64	3	59,06	1	59,06	221,82	4	59,06	1	59,06	163,64	3	59,06	1
nichtwendend, groß, Wind	59,06	203,64	3	59,06	1	59,06	183,70	3	59,06	1	59,06	118,52	3	59,06	1

4.8.4 Vergleich der Anbauverfahren Zuckerrübe

In Tabelle 52 sind die Ergebnisse zum Aussaat-, Ernte- und Verfahrensumfang sowie der Ordnung der Restriktionen für das wendende und das nichtwendende Anbauverfahren der Zuckerrübe dargestellt. Bei den Anbauverfahren der Zuckerrübe umfassen die Arbeitsgänge zur Aussaat im APR1 die Aussaat, die Unkrautbonitur und die Pflanzenschutzmaßnahme 1. Als Erntearbeit im OKT1 fällt nur das Roden an.

Da sich bei der Aussaat keine Unterschiede zwischen den beiden Anbauverfahren ergeben und die Aussaat in den meisten Fällen mit hoher Ordnungsnummer limitierend auf den Verfahrensumfang wirkt, erfolgt hier zunächst die Beschreibung der Ordnung der Restriktionen und der Aussaat für die beiden Anbauverfahren. Danach folgen die Ergebnisse zum Vergleich der Anbauverfahren für die drei Stationen.

Wendendes Anbauverfahren

Für den großen Betrieb erfolgt die Restriktion erster Ordnung beim wendenden Anbauverfahren ohne und mit Windauflage immer mit den Arbeitsgängen Mineraldünger ausbringen 1, Pflügen, Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach) im OKT2. Die Restriktion zweiter Ordnung erfolgt in Gießen durch das Roden im OKT1, gefolgt von der Aussaat im APR1. In Teterow erfolgt die Restriktion zweiter Ordnung durch die Arbeitsgänge Eggen mit Saatbettkombination und Mineraldünger ausbringen 2 im MRZ2, gefolgt vom Roden im OKT1. In Teterow limitiert die Aussaat im APR1 den Verfahrensumfang erst in vierter Ordnung. In Boltenhagen ohne Windauflage bildet das Roden im OKT1 die Restriktion zweiter Ordnung, gefolgt von den Arbeitsgängen mit Eggen mit Saatbettkombination und Mineraldünger ausbringen 2 im MRZ2, welche die Restriktion dritter Ordnung bilden. Die Aussaat im APR1 limitiert den Verfahrensumfang erst an vierter Stelle. Mit Windauflage hingegen erfolgt die Limitation des Verfahrensumfangs durch die Aussaat im APR1 bereits an zweiter Stelle, gefolgt vom Roden im OKT1.

Für den kleinen Betrieb erfolgt die Restriktion erster Ordnung, mit Ausnahme von Boltenhagen mit Windauflage, wo die Aussaat im APR1 den Verfahrensumfang primär beschränkt, immer durch das Roden im OKT1. Die Restriktion zweiter Ordnung erfolgt, mit Ausnahme von Boltenhagen mit Windauflage, wo das Roden im OKT1 den Verfahrensumfang an zweiter

Stelle limitiert, immer durch die Arbeitsgänge Mineraldünger ausbringen 1, Pflügen, Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach) im OKT2. In Gießen limitiert die Aussaat ohne und mit Windauflage den Verfahrensumfang in dritter Ordnung. In Teterow ohne und mit Windauflage sowie in Boltenhagen ohne Windauflage limitiert Eggen mit Saatbettkombination und Mineraldünger ausbringen 2 im MRZ2 den Verfahrensumfang in dritter Ordnung, gefolgt von der Aussaat im APR1.

Nichtwendendes Anbauverfahren

Die Limitation erster Ordnung erfolgt hier für beide Betriebstypen in Teterow und Boltenhagen sowie für den großen Betrieb in Gießen im MRZ2 durch das Eggen mit Kreiselegge und dem Mineraldünger ausbringen 2. Für den kleinen Betrieb in Gießen hingegen ist das Roden im OKT1 die Limitation erster Ordnung, während das Eggen mit Kreiselegge und das Mineraldünger ausbringen 2 dort die Limitation zweiter Ordnung darstellt. Die Limitation zweiter Ordnung erfolgt für die restlichen Stationen, mit Ausnahme des großen Betriebs mit Windauflage in Boltenhagen, bei welchem die Aussaat im APR1 den Verfahrensumfang an zweiter Stelle limitiert, immer durch das Roden im OKT1. Die Restriktion dritter Ordnung erfolgt in Gießen und Teterow ohne und mit Windauflage sowie in Boltenhagen ohne Windauflage immer durch die Arbeitsgänge Mineraldünger ausbringen 1, Tiefgrubbern, Kalk ab Feld streuen und Stoppelbearbeitung (flach) im OKT2, gefolgt von der Aussaat im APR1, welche den Verfahrensumfang an vierter Stelle limitiert. Mit Windauflage limitiert die Aussaat den Verfahrensumfang des kleinen und großen Betriebs in Boltenhagen an dritter und zweiter Stelle.

Gießen

In Gießen entsprechen alle Ergebnisse ohne Windauflage den Ergebnissen mit Windauflage. Auch wenn das Roden außer Acht gelassen wird, ergeben sich keine Unterschiede bezüglich der Windauflage. Für den kleinen Betrieb beträgt der Verfahrensumfang beider Anbauverfahren 23,36 ha. Für den großen Betrieb ergibt sich ein Verfahrensumfang von 71,85 ha beim wendenden und von 89,51 ha beim nichtwendenden Anbauverfahren, sodass der Vorteil beim

nichtwendenden Anbauverfahren liegt. Die Aussaat limitiert den Verfahrensumfang des wendenden und des nichtwendenden Anbauverfahrens für beide Betriebstypen an dritter und vierter Stelle, sodass auch hier der Vorteil beim nichtwendenden Anbauverfahren liegt.

Teterow

In Teterow liegt der Vorteil beim Verfahrensumfang mit 26,80 ha (großer Betrieb: 72,88 ha) sowohl ohne als auch mit Windauflage beim wendenden Anbauverfahren. Das nichtwendende Anbauverfahren erreicht nur einen Verfahrensumfang von 22,76 ha (48,85 ha). Die Aussaatumfänge werden durch die Windauflage bei beiden Anbauverfahren um 25,21 ha (44,30 ha) von jeweils 66,03 ha (173,33 ha) auf 40,82 ha (129,03 ha) reduziert. Bei beiden Anbauverfahren liegt die Aussaat ohne und mit Windauflage an vierter Stelle bei der Ordnung der Restriktionen. Unter Außerachtlassung des Rodens ist aufgrund des geringen Abstandes von 14,02 ha zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang des kleinen Betriebs beim wendenden Anbauverfahren mit Windauflage eine Limitation des Verfahrensumfanges durch die Aussaat in einzelnen Jahren nicht auszuschließen, auch wenn die Aussaat hier erst in vierter Ordnung limitierend wirkt.

Boltenhagen

Ohne Windauflage führt das wendende Anbauverfahren mit 24,60 ha (66,72 ha) zu höheren Verfahrensumfängen als das nichtwendende Anbauverfahren mit 22,76 ha (45,85 ha). Auch wenn durch die Windauflage der Verfahrensumfang beim kleinen Betrieb um 0,11 ha von 24,60 ha auf 24,49 ha marginal sinkt, liegt der Vorteil mit Windauflage weiterhin beim wendenden Anbauverfahren. Der Aussaatumfang des großen Betriebs beträgt bei beiden Anbauverfahren 136,67 ha ohne und 77,42 ha mit Windauflage. Ohne und mit Windauflage liegt der Vorteil beim Aussaatumfang des kleinen Betriebs mit 66,03 ha gegenüber 52,06 ha und 40,82 ha gegenüber 24,49 ha beim nichtwendenden Anbauverfahren. Ohne Windauflage bildet die Aussaat bei beiden Anbauverfahren und beiden Betriebstypen die Limitation vierter Ordnung. Mit Windauflage beschränkt die Aussaat den Verfahrensumfang des kleinen Betriebs beim wendenden Anbauverfahren in erster Ordnung und den Verfahrensumfang des gro-

ßen Betriebs in zweiter Ordnung. Beim nichtwendenden Anbauverfahren mit Windauflage bildet die Aussaat beim kleinen Betrieb die Restriktion dritter Ordnung und beim großen Betrieb die Restriktion zweiter Ordnung, sodass der Vorteil für den kleinen Betrieb mit Windauflage beim nichtwendenden Anbauverfahren liegt. Aufgrund des geringen Abstandes von 10,70 ha und 18,05 ha zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang des großen Betriebs beim wendenden Anbauverfahren mit Windauflage und beim kleinen Betrieb bei nichtwendenden Anbauverfahren mit Windauflage kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Aussaat den Verfahrensumfang in einzelnen Jahren limitiert. Die Außerachtlassung des Rodens führt zu keinen grundsätzlichen Veränderungen.

Tabelle 52: Vergleich der Anbauverfahren Zuckerrübe, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen
(Quelle: Eigene Berechnung)

Vergleich Anbauverfahren Zuckerrübe	Gießen					Teterow					Boltenhagen				
	Verfahrensumfang (ha)	Umfng Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfng Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte	Verfahrensumfang (ha)	Umfng Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfng Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte	Verfahrensumfang (ha)	Umfng Aussaat (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Aussaat	Umfng Ernte (ha)	Ordnung der Restriktion der Arbeitsgänge zur Ernte
wendend, klein	26,36	71,11	3	26,36	1	26,80	66,03	4	26,80	1	24,60	52,06	4	24,60	1
wendend, klein, Wind	26,36	71,11	3	26,36	1	26,80	40,82	4	26,80	1	24,49	24,49	1	24,60	2
wendend, groß	71,85	186,67	3	97,69	2	72,88	173,33	4	99,32	3	66,72	136,67	4	91,18	2
wendend, groß, Wind	71,85	186,67	3	97,69	2	72,88	129,03	4	99,32	3	66,72	77,42	2	91,18	3
nichtwendend, klein	26,36	71,11	4	26,36	2	22,76	66,03	4	26,80	2	22,76	66,03	4	26,80	2
nichtwendend, klein, Wind	26,36	71,11	4	26,36	2	22,76	40,82	4	26,80	2	22,76	40,82	3	26,80	2
nichtwendend, groß	89,51	186,67	4	97,69	2	45,85	173,33	4	99,32	2	45,85	136,67	4	91,18	2
nichtwendend, groß, Wind	89,51	186,67	4	97,69	2	45,85	129,03	4	99,32	2	45,85	77,42	2	91,18	3

4.9 Kostenminimaler Maschineneinsatz zur Aussaat und ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz zur Aussaat für 1000 ha anhand der Feldarbeitstage (FAT), die in 80 % aller Jahre ohne und mit Windauf-
lage mindestens zur Verfügung stehen, dargestellt. Insofern stellt der Wert des kostenmini-
malen Maschineneinsatzes hier keinen Erwartungswert der Kosten dar, sondern entspricht
dem 20 %- Quantil der Kosten im Hinblick auf die FAT. Anders als in den vorangegangenen
Kapiteln beruhen die Ergebnisse dieses Kapitels nicht auf der einschränkenden Annahme einer
Arbeitskraft, denn hier wird von einer unbegrenzten Anzahl an Arbeitskräften ausgegangen
(siehe Kapitel 3.12).

Dabei werden die Anzahl der Maschinen, die zur kostenminimalen Aussaat führt, die Kosten
der Sämaschinen, die Kosten durch Ertragsverluste und die Gesamtkosten abgebildet. Die Kos-
ten der Aussaat ergeben sich aus den Kosten der Sämaschinen, den Kosten durch Ertragsver-
luste sowie den Kosten der Schlepper und der Lohnkosten, auf deren gesonderte Darstellung
hier verzichtet wird, da sich Änderungen der Kosten der Aussaat ohne und mit Windauf-
lage ausschließlich durch Veränderungen der Kosten der Sämaschinen und der Kosten durch Er-
tragsverluste ergeben. Im folgenden Kapitel werden Aussaatkosten und Gesamtkosten (der
Aussaat) synonym verwendet.

Die Tabellen der Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz zur Aussaat mit Wind-
auf-
lage enthalten zusätzlich die Differenzen in der Anzahl der Maschinen, den Kosten der Aus-
saat und den Erträgen zwischen den Situationen ohne und mit Windauf-
lage. Da in der Regel
die Differenz der Maschinen und die Differenz der Kosten zur Aussaat mit der durchschnittli-
chen Windgeschwindigkeit (m/s) steigen (Gießen < Teterow < Boltenhagen), wird in diesem
Kapitel auf eine ausführliche schriftliche Erläuterung dieser Ergebnisse verzichtet und nur Ab-
weichungen hiervon besonders dargelegt.

Am Ende jedes Unterkapitels der Kulturen sind die Ergebnisse der Direkt- und arbeitserledi-
gungskostenfreien Leistungen (DAKfL) der verschiedenen Anbauverfahren dargestellt. Da der
Rückgang der DAKfL durch die Windauf-
lage den Kostensteigerungen der Aussaatkosten bei
kostenminimalem Maschineneinsatz durch die Windauf-
lage entspricht, wird auf eine schrift-

liche Erläuterung dieser Ergebnisse verzichtet. Vielmehr sollen hier die Ergebnisse der verschiedenen Anbauverfahren sowie der Maschinenanzahl in den Situationen ohne und mit Windauflage dargestellt werden.

Im folgenden Kapitel zeigt sich, dass beim kleinen Betrieb in Gießen für Sommergerste (Direktsaat) und bei dem kleinen Betrieb in Teterow für Winterweizen (wendend) paradoxerweise das Gegenteil der Hypothese 4 gilt: Hier sind die Kosten für aussaatbedingte Ertragsverluste bei der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes durch Ertragssteigerungen mit Windauflage niedriger als ohne Windauflage. Eine ausführliche Erklärung dazu findet sich in Kapitel 5.3.2.

Zur Einordnung der Ergebnisse und zum Verständnis der verwendeten Methoden erfolgt zunächst beispielhaft die Darstellung der Ergebnisse für das wendende Anbauverfahren der Sommergerste in einem großen Betrieb in Teterow in Form von Abbildungen. Abbildung 7 zeigt den Verlauf der Gesamtkosten der Aussaat in Abhängigkeit von der Anzahl der eingesetzten Sämaschinen für 1000 ha für das wendende Anbauverfahren der Sommergerste in einem großen Betrieb in Teterow (siehe auch Tabelle 60 und Tabelle 61). Der Kurvenverlauf ist dabei als U-Form charakterisiert, wobei die Gesamtkosten mit steigender Maschinenanzahl bis zum kostenminimalen Maschineneinsatz abnehmen. Dieser ist für die Gesamtkosten ohne Windauflage bei 5 und für die Gesamtkosten mit Windauflage bei 10 Sämaschinen erreicht. Danach steigen die Gesamtkosten wiederum an. Bis zur Anzahl von 10 Sämaschinen sind die Gesamtkosten mit Windauflage höher als ohne Windauflage. Ab einer Anzahl von 11 Sämaschinen sind die Gesamtkosten ohne und mit Windauflage identisch. Es ist also zu erkennen, dass der Kostenunterschied mit zunehmender Anzahl an Sämaschinen abnimmt und somit die Windauflage bei hohen Anzahlen von Sämaschinen vernachlässigt werden kann.

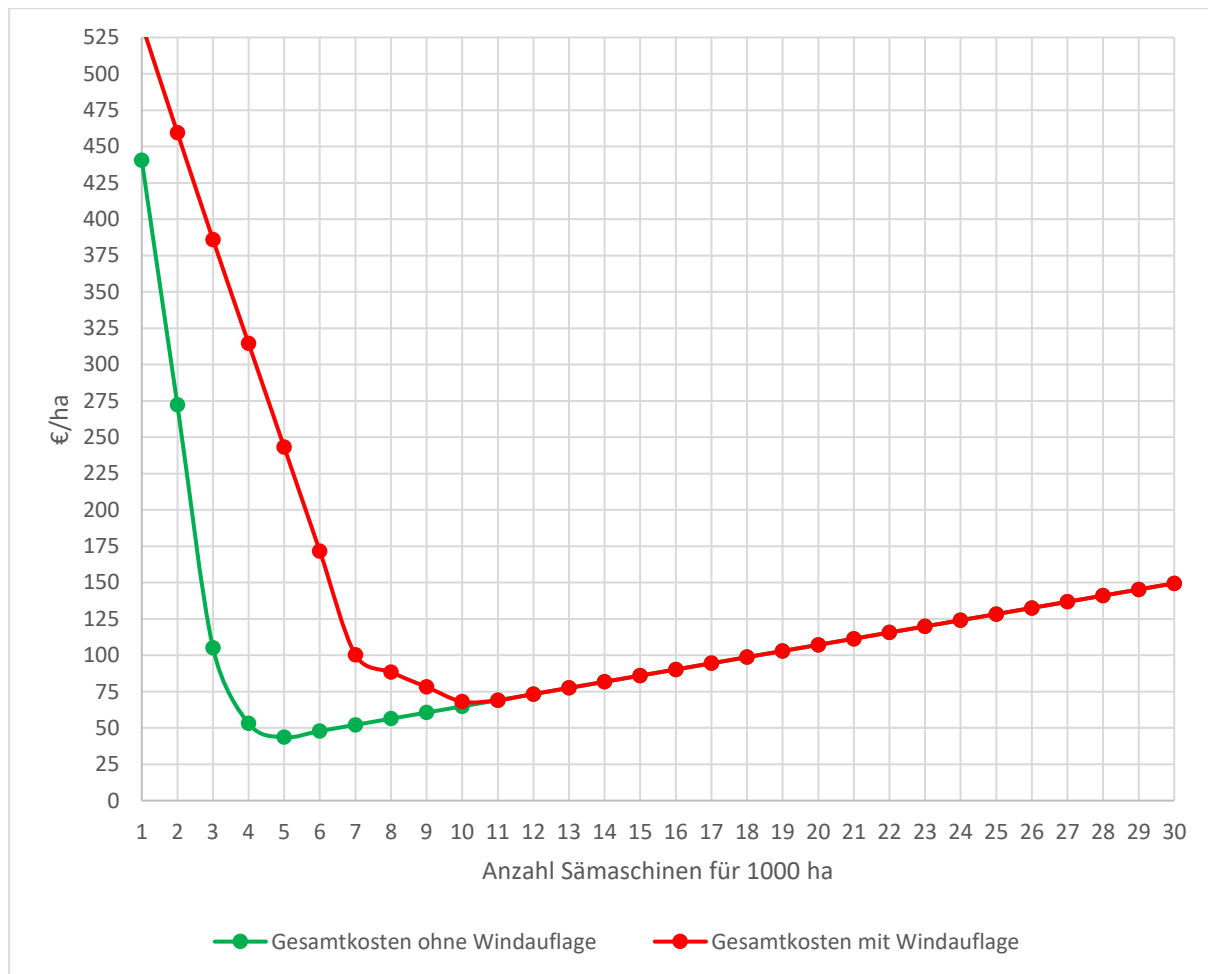


Abbildung 7: Verlauf der Aussaatkosten (Gesamtkosten) nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für den großen Betrieb mit Sommergerste (wendend) in Teterow ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Während Abbildung 7 nur die Gesamtkosten für die Aussaat darstellt, einschließlich der Kosten für Sämaschinen, Schlepper und Arbeitslohn sowie der aussaatbedingten Ertragsverluste, verdeutlicht Abbildung 8 die Bedeutung der Austauschbeziehung zwischen der Steigerung der Maschinenanzahl und der Realisierung von Ertragsverlusten. Während die Anzahl der eingesetzten Sämaschinen steigt, erhöhen sich die Kosten für Sämaschinen, Schlepper und Arbeitslohn gleichmäßig. Gleichzeitig nehmen die Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste jedoch ab, wobei sich dieser Rückgang als abklingende Kurve darstellt. Bei 5 Sämaschinen ohne Windauflage und 11 Sämaschinen mit Windauflage treten schließlich keine aussaatbedingten Ertragsverluste mehr auf. Die Abbildung zeigt auch, dass die Windauflage nur die Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste beeinflusst, während die restlichen Kosten ohne und mit Windauflage identisch verlaufen.

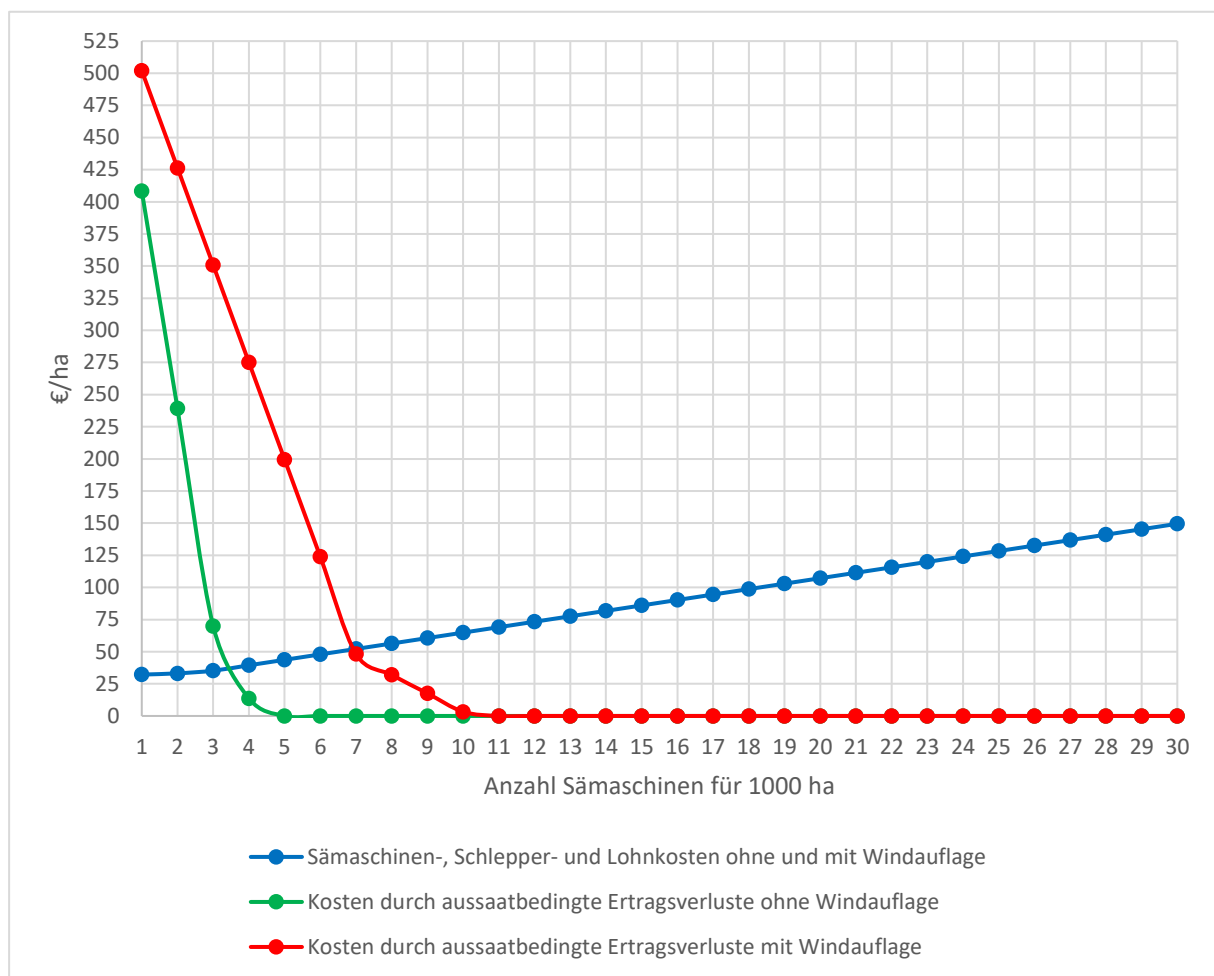


Abbildung 8: Verlauf der Sämaschinen-, Schlepper und Lohnkosten sowie der Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für den großen Betrieb mit Sommergerste (wendend) in Teterow (Quelle: Eigene Berechnung)

Abbildung 9 verdeutlicht die Unterschiede zwischen den Kosten für die Sämaschinen und den Schlepper- und Lohnkosten, die durch die methodischen Annahmen (siehe Kapitel 3.12.1) hervorgerufen werden. Da die Schlepper- und Lohnkosten pro Betriebsstunde angenommen werden und somit unabhängig von der Anzahl der Sämaschinen gleichbleibend sind, ergibt sich für sie ein horizontaler Verlauf. Die Kosten für die Sämaschinen hingegen werden durch die tatsächliche Auslastung bestimmt, sodass sie mit zunehmender Anzahl an Sämaschinen ansteigen, da die tatsächliche Auslastung pro Sämaschine bei festgelegten 1000 ha abnimmt. Im Kostenverlauf der Sämaschinen ist auch zu erkennen, dass die Abschreibung der ersten beiden

Sämaschinen nach Leistung erfolgt und die Kurve erst danach durch die zeitabhängige Abschreibung linear ansteigt.

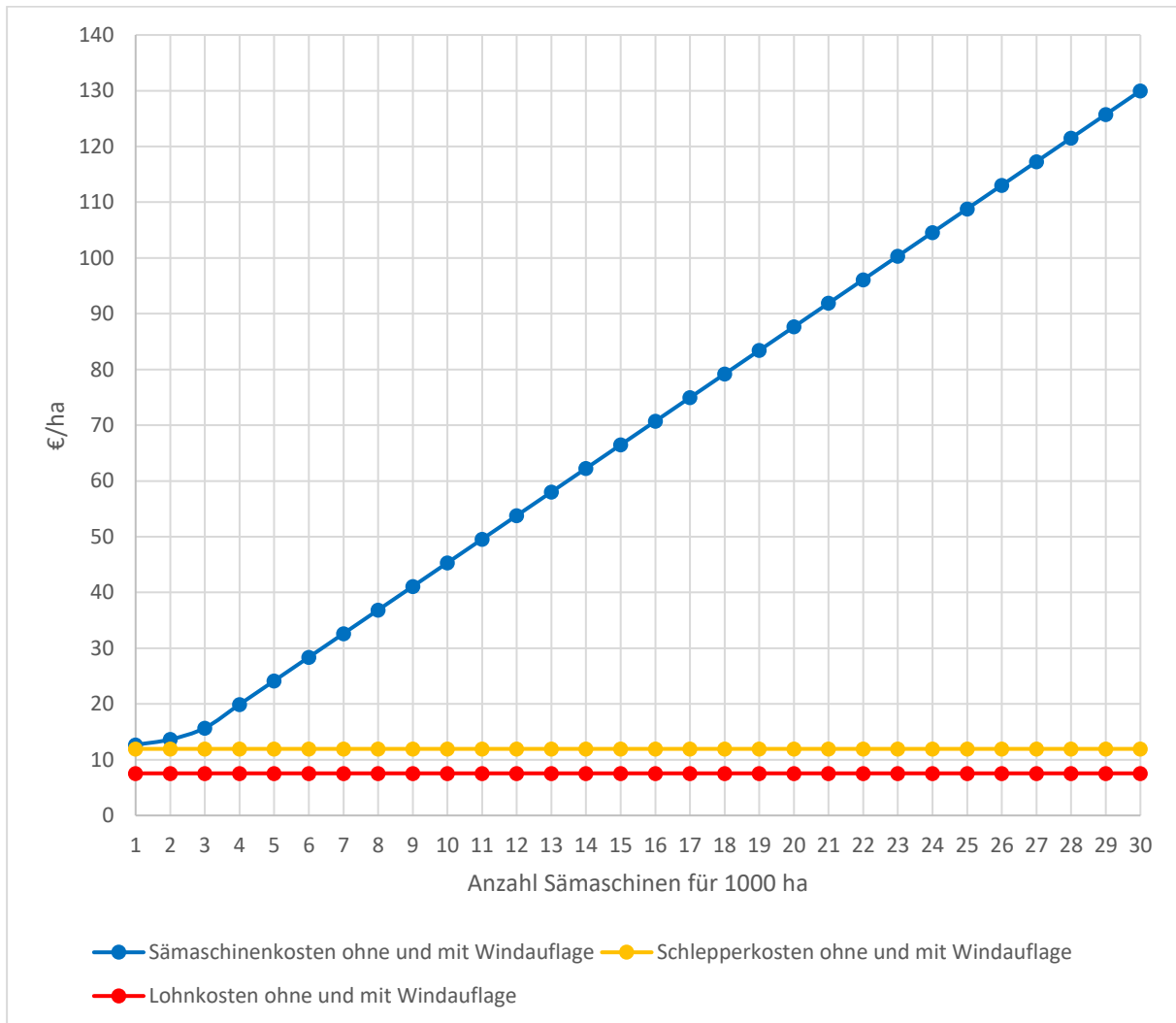


Abbildung 9: Verlauf der Sämaschinen-, Schlepper und Lohnkosten (getrennte Darstellung) nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für den großen Betrieb mit Sommergerste (wendend) in Teterow (Quelle: Eigene Berechnung)

Abschließend zeigt Abbildung 10 den detaillierten Verlauf der Gesamtkosten der Aussaat sowie ihrer einzelnen Bestandteile für den großen Betrieb mit Sommergerste (wendend) in Teterow.

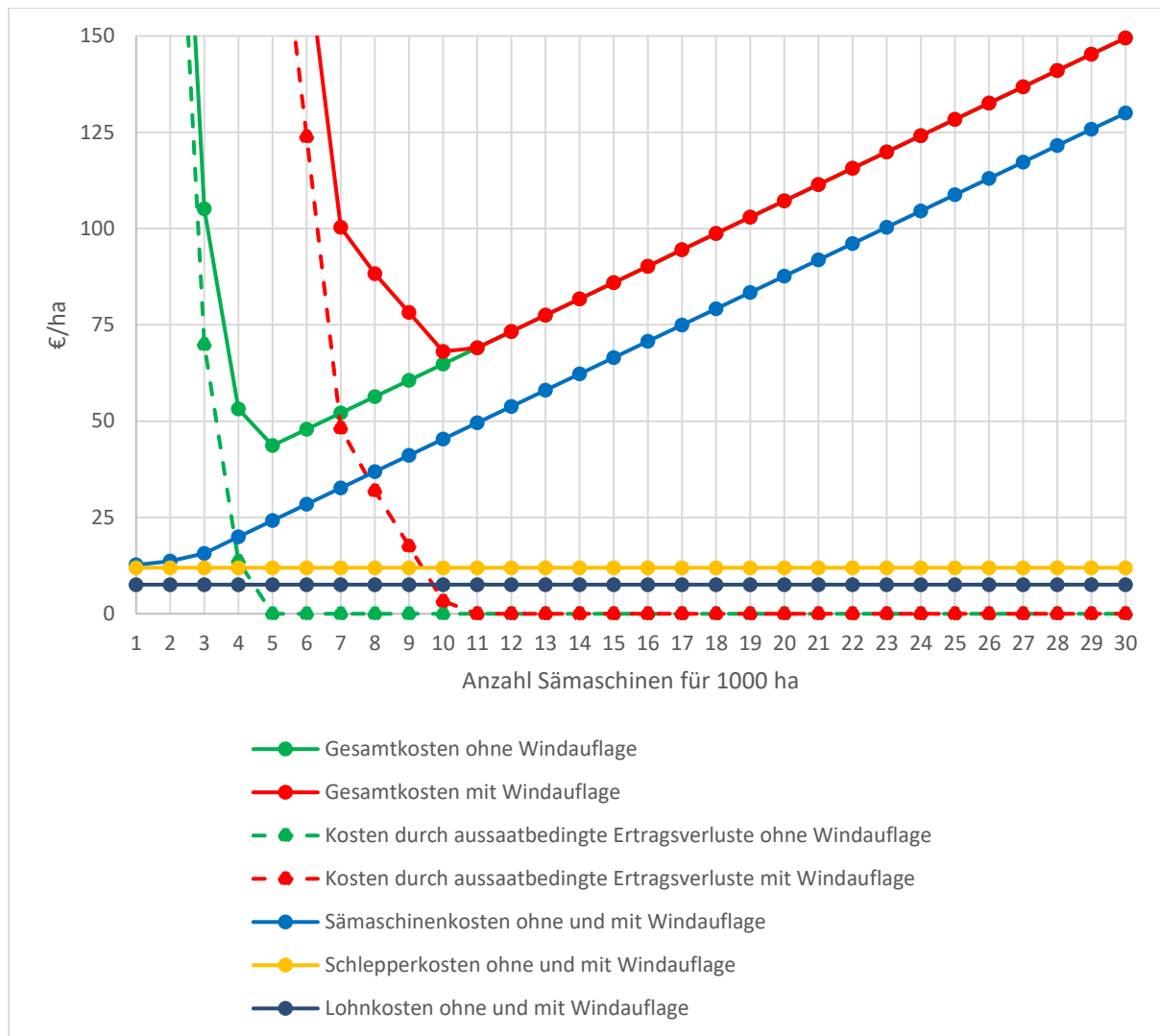


Abbildung 10: Detaillierter Verlauf der Gesamtkosten der Aussaat und deren Bestandteile für 1000 ha für den großen Betrieb mit Sommergerste (wendend) in Teterow (Quelle: Eigene Berechnung)

4.9.1 Winterweizen

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz für die Aussaat des wendenden, des nichtwendenden und des direkten Anbauverfahrens (Direktsaat) für den Winterweizen dargestellt. Anschließend erfolgt die Darstellung der Ergebnisse zu den Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen der Anbauverfahren.

4.9.1.1 Winterweizen wendend

Die Tabelle 53 und die Tabelle 54 zeigen die Ergebnisse des Winterweizens für das wendende Anbauverfahren ohne und mit Windauflage. In Gießen ergeben sich durch die Windauflage keine Änderungen, während sich in Teterow und Boltenhagen die Anzahl der Maschinen zur kostenminimalen Aussaat deutlich erhöhen. Bei beiden Stationen sind für den kleinen Betrieb mit Windauflage 7 Maschinen mehr notwendig, während bei den großen Betrieben jeweils 2 zusätzliche Maschinen zum kostenminimalen Maschineneinsatz führen. In Teterow (groß) sowie Boltenhagen (klein und groß) steigen die Kosten der Sämaschine und die Kosten der Ertragsverluste. Auch der durchschnittliche Ertrag fällt leicht ab. Bei Teterow (klein) steigen die Kosten der Sämaschine sowie die Gesamtkosten, wobei es zu einer leichten Reduktion der Ertragsverluste kommt und der durchschnittliche Ertrag leicht ansteigt. So führt die Windauflage zu einer Steigerung der Gesamtkosten von nur 6,27 €/ha für Teterow (klein) während sie für Boltenhagen (klein) 10,70 €/ha beträgt. Für die großen Betriebe ergeben sich durch die Windauflage mit einer Steigerung von 11,74 €/ha (Teterow) und 16,71 €/ha (Boltenhagen) der Gesamtkosten höhere Belastungen als für die kleinen Betriebe. Ohne Windauflage liegen die Gesamtkosten der großen Betriebe über denen der kleinen. Durch die Windauflage nähern sich die Gesamtkosten des kleinen und des großen Betriebs in Teterow fast vollständig an, wobei in Boltenhagen die Gesamtkosten des kleinen Betriebs 0,39 €/ha unter denen des großen liegen. Die Kosten der Sämaschinen übersteigen in allen Fällen die Kosten durch Ertragsverluste.

Tabelle 53: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen wendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)
Gießen, klein	7	8,99	0,00	41,86
Gießen, groß	3	15,70	0,00	35,21
Teterow, klein	7	8,99	0,30	42,16
Teterow, groß	3	15,70	0,87	36,07
Boltenhagen, klein	8	9,92	0,00	42,79
Boltenhagen, groß	3	15,70	1,95	37,15

Tabelle 54: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen wendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Maschinen (n)	Differenz Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Ertrag (dt/ha)
Gießen, klein	7	8,99	0,00	41,86	0	0,00	0,00
Gießen, groß	3	15,70	0,00	35,21	0	0,00	0,00
Teterow, klein	14	15,48	0,07	48,42	7	6,27	0,01
Teterow, groß	5	24,16	4,14	47,81	2	11,74	-0,20
Boltenhagen, klein	15	16,41	4,21	53,48	7	10,70	-0,25
Boltenhagen, groß	5	24,16	10,19	53,87	2	16,71	-0,50

4.9.1.2 Winterweizen nichtwendend

Wie die Tabelle 55 und die Tabelle 56 zeigen, führt die Windauflage beim nichtwendenden Anbauverfahren in Gießen nur zu marginalen Änderungen, wobei die kostenminimale Maschinenanzahl gleichbleibt. In Teterow und Boltenhagen steigt die Maschinenanzahl deutlich. So werden in Teterow für den kleinen Betrieb 8 zusätzliche Maschinen und für den großen Betrieb 3 zusätzliche Maschinen benötigt. In Boltenhagen sind es beim kleinen Betrieb 10 zusätzliche Maschinen und beim großen 4 zusätzliche Maschinen. Die großen Betriebe haben mit zusätzlichen Gesamtkosten von 17,55 €/ha in Teterow und mit 22,48 €/ha in Boltenhagen eine höhere Belastung durch die Windauflage als die kleinen Betriebe, bei denen die Gesamtkosten in Teterow um 9,32 €/ha und in Boltenhagen um 14,07 €/ha steigen. Während ohne Windauflage die großen Betriebe niedrigere Aussaatkosten als die kleinen Betriebe aufweisen, kehrt sich dieses Verhältnis mit Windauflage in Teterow und Boltenhagen um, sodass hier die kleinen Betriebe niedrigere Aussaatkosten aufweisen als die großen Betriebe. Die Kosten durch die größere Anzahl an Sämaschinen sind in jedem Fall größer als die Kosten durch Ertragsverluste. Durch die Windauflage kommt es bei allen Varianten zu Ertragseinbußen, welche bei den großen Betrieben höher ausfallen als bei den kleinen.

Tabelle 55: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen nichtwendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)
Gießen, klein	10	11,77	0,00	62,09
Gießen, groß	4	19,93	3,25	57,86
Teterow, klein	11	12,70	0,00	63,02
Teterow, groß	4	19,93	4,71	59,32
Boltenhagen, klein	12	13,63	0,00	63,94
Boltenhagen, groß	4	19,93	6,59	61,20

Tabelle 56: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen nichtwendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Maschinen (n)	Differenz Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Ertrag (dt/ha)
Gießen, klein	10	11,77	0,52	62,61	0	0,52	-0,03
Gießen, groß	4	19,93	4,06	58,67	0	0,81	-0,05
Teterow, klein	19	20,12	1,91	72,34	8	9,32	-0,12
Teterow, groß	7	32,63	9,56	76,87	3	17,55	-0,29
Boltenhagen, klein	22	22,90	4,80	78,01	10	14,07	-0,29
Boltenhagen, groß	8	36,86	12,14	83,68	4	22,48	-0,34

4.9.1.3 Winterweizen Direktsaat

Aus der Tabelle 57 und der Tabelle 58 wird ersichtlich, dass sich in Gießen auch beim direkten Anbauverfahren nur geringfügige Änderungen ergeben. Die Anzahl der Maschinen zur Aussaat bleibt gleich. Während bei den beiden vorangegangenen Anbauverfahren bei den kleinen Betrieben durch die Windauflage eine deutliche Steigerung der Maschinenzahl durch die Windauf-
lage zu verzeichnen ist, fällt der Unterschied zwischen großen und kleinen Betrieben beim direkten Anbauverfahren mit einer Steigerung von 3 (klein) und 2 (groß) Maschinen in Teterow und 4 (klein) und 3 (groß) Maschinen in Boltenhagen deutlich geringer aus. Auch fallen die Kostensteigerungen der Sämaschinen hier im Vergleich zu den Ertragsverlusten noch deutlicher aus. Auch hier fällt der durchschnittliche Ertrag bei allen Varianten leicht ab. Bei den Gesamtkosten schneiden auch hier die großen Betriebe mit einer Steigerung von 27,62 €/ha in Teterow und 33,31 €/ha in Boltenhagen schlechter als die kleinen Betriebe ab, bei welchen die Steigerung mit 21,86 €/ha in Teterow und 29,94 €/ha in Boltenhagen geringer ausfällt. Beim direkten Anbauverfahren liegen die Gesamtkosten mit und ohne Windauflage bei den großen Betrieben immer unter denen der kleinen Betriebe.

Tabelle 57: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen Direktsaat, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)
Gießen, klein	4	33,70	4,36	66,46
Gießen, groß	2	16,55	6,38	44,61
Teterow, klein	4	33,70	5,99	68,09
Teterow, groß	2	16,55	8,94	47,17
Boltenhagen, klein	4	33,70	8,57	70,67
Boltenhagen, groß	2	16,55	11,20	49,43

Tabelle 58: Kostenminimaler Maschineneinsatz Winterweizen Direktsaat, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Maschinen (n)	Differenz Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Ertrag (dt/ha)
Gießen, klein	4	33,70	5,10	67,21	0	0,74	-0,04
Gießen, groß	2	16,55	7,56	45,79	0	1,19	-0,07
Teterow, klein	7	49,98	11,58	89,96	3	21,86	-0,34
Teterow, groß	4	41,54	11,58	74,79	2	27,62	-0,16
Boltenhagen, klein	8	55,40	16,80	100,61	4	29,94	-0,50
Boltenhagen, groß	5	48,93	12,14	82,74	3	33,31	-0,06

4.9.1.4 Ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren des Winterweizens durch die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen

Beim Vergleich der Anbauverfahren (siehe Tabelle 59) wird ersichtlich, dass die Differenzen der DAKfL ohne und mit Windauflage beim wendenden Anbauverfahren am niedrigsten und beim direkten Anbauverfahren am höchsten sind. Nichtsdestotrotz erwirtschaftet das direkte Anbauverfahren unabhängig von der Betriebsgröße die höchsten DAKfL, gefolgt vom nichtwendenden und dem wendenden Anbauverfahren. Durch eine Windauflage bleibt die ökonomische Vorzüglichkeit der Anbauverfahren bestehen. Auch wenn die Differenz der Kosten beim Arbeitsgang zur Aussaat bei großen Betrieben wesentlich höher ausfällt als bei den kleinen Betrieben, erwirtschaften die großen Betriebe in allen Anbauverfahren wesentlich höhere DAKfL.

Tabelle 59: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (€/ha) für Winterweizen nach Anbauverfahren und Betriebstyp (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbauverfahren, Betriebstyp	Gießen	Teterow	Boltenhagen	Gießen_W	Teterow_W	Boltenhagen_W
wendend, klein	74,53	74,23	73,60	74,53	67,97	62,90
wendend, groß	254,97	254,11	253,02	254,97	242,37	236,31
nichtwendend, klein	118,39	117,46	116,53	117,87	108,14	102,46
nichtwendend, groß	299,67	298,21	296,33	298,86	280,66	273,85
Direktsaat, klein	234,84	233,21	230,63	234,10	211,35	200,70
Direktsaat, groß	331,86	329,30	327,04	330,68	301,67	293,73

W = Windauflage

4.9.2 Sommergerste

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz für die Aussaat des wendenden, des nichtwendenden und des direkten Anbauverfahrens (Direktsaat) für die Sommergerste dargestellt. Anschließend erfolgt die Darstellung der Ergebnisse zu den Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen der Anbauverfahren.

4.9.2.1 Sommergerste wendend

Die Tabelle 60 und die Tabelle 61 zeigen die Ergebnisse für das wendende Anbauverfahren der Sommergerste ohne und mit Windauflage. Die Windauflage führt in Gießen beim kleinen Betrieb zur Erhöhung der Maschinenanzahl von 6 auf 7 Maschinen, wobei die Kosten der Aussaat nur marginal um 0,78 €/ha steigen. Beim großen Betrieb in Gießen ergeben sich keine Änderungen. In Teterow und Boltenhagen erhöhen sich die Anzahl der Maschinen und die Kosten zur Aussaat. Für die kleinen Betriebe steigen die Anzahl der Maschinen sowie die Kosten der Aussaat in Teterow um 13 Stück und 12,13 €/ha und in Boltenhagen um 17 Stück und 15,76 €/ha. Für die großen Betriebe liegt die Steigerung bei 5 Maschinen und 24,42 €/ha in Teterow sowie bei 7 Maschinen und 30,28 €/ha in Boltenhagen. Während durch die Windauflage die Kosten der Sämaschine mit Ausnahme von Gießen (groß) in allen Fällen steigen, ergeben sich in Teterow (klein, 0,07 €/ha), Teterow (groß, 3,26 €/ha) und Boltenhagen (groß, 0,65 €/ha) zusätzliche Kosten durch Ertragsverluste, wobei diese wie auch die Differenz zum Ertrag gering ausfallen (-0,18 dt/ha Teterow (groß), -0,04 dt/ha Boltenhagen (groß)). Mit Ausnahme von Gießen steigen die Kosten der Aussaat für den großen Betriebstyp stärker als für den kleinen Betriebstyp. Ohne die Windauflage ist die Aussaat in Gießen (35,21 €/ha < 41,08 €/ha) und in Teterow (43,67 €/ha < 44,64 €/ha) für große Betriebe günstiger. In Boltenhagen hingegen ist die Aussaat für den kleinen Betrieb mit 49,28 €/ha gegenüber dem großen mit 52,14 €/ha günstiger. Durch die Windauflage bleiben diese absoluten Verhältnisse in Gießen und Boltenhagen erhalten. In Teterow hingegen führt die Windauflage zum Kostenvorteil des kleinen Betriebs gegenüber dem großen Betrieb.

Tabelle 60: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste wendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)
Gießen, klein	6	8,21	0,00	41,08
Gießen, groß	3	15,70	0,00	35,21
Teterow, klein	10	11,77	0,00	44,64
Teterow, groß	5	24,16	0,00	43,67
Boltenhagen, klein	15	16,41	0,00	49,28
Boltenhagen, groß	7	32,63	0,00	52,14

Tabelle 61: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste wendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Maschinen (n)	Differenz Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Ertrag (dt/ha)
Gießen, klein	7	8,99	0,00	41,86	1	0,78	0,00
Gießen, groß	3	15,70	0,00	35,21	0	0,00	0,00
Teterow, klein	23	23,82	0,07	56,77	13	12,13	0,00
Teterow, groß	10	45,33	3,26	68,09	5	24,42	-0,18
Boltenhagen, klein	32	32,17	0,00	65,04	17	15,76	0,00
Boltenhagen, groß	14	62,26	0,65	82,42	7	30,28	-0,04

4.9.2.2 Sommergerste nichtwendend

Die Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz für Sommergerste im nichtwendenden Anbauverfahren ohne und mit Windauflage sind in der Tabelle 62 und der Tabelle 63 zu finden. In Gießen steigen die Anzahl der Maschinen und die Kosten zur Aussaat demnach um 2 Maschinen und um 1,85 €/ha für den kleinen und um 1 Maschine und 4,23 €/ha für den großen Betrieb. Wesentlich höher fallen die Steigerungen in Teterow und Boltenhagen aus, wo sich die Anzahl der Maschinen für die kleinen Betriebe um 20 und 26 Maschinen erhöht und die Kosten zur Aussaat um 18,45 €/ha und um 24,11 €/ha steigen. Für die großen Betriebe in Teterow und Boltenhagen steigt die Anzahl der Maschinen um 10 und 13 sowie die Kosten zur Aussaat um 43,79 €/ha und um 55,02 €/ha. Kosten durch Ertragsverluste fallen durch die Windauflage nur in Teterow an, wobei die Kosten mit 1,47 €/ha sowie die Abnahme des durchschnittlichen Ertrages um 0,08 dt/ha marginal ausfallen. Mit Ausnahme von Gießen ohne Windauflage besitzen die kleinen Betriebe immer einen Kostenvorteil gegenüber den großen Betrieben, wobei sich dieser Vorteil durch die Windauflage verstärkt.

Tabelle 62: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste nichtwendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)
Gießen, klein	9	10,84	0,00	60,35
Gießen, groß	5	24,16	0,00	58,84
Teterow, klein	15	16,41	0,00	65,91
Teterow, groß	8	36,86	0,00	71,54
Boltenhagen, klein	22	22,90	0,00	72,40
Boltenhagen, groß	12	53,79	0,00	88,47

Tabelle 63: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste nichtwendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Maschinen (n)	Differenz Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Ertrag (dt/ha)
Gießen, klein	11	12,70	0,00	62,21	2	1,85	0,00
Gießen, groß	6	28,40	0,00	63,08	1	4,23	0,00
Teterow, klein	35	34,95	0,00	84,46	20	18,54	0,00
Teterow, groß	18	79,19	1,47	115,34	10	43,79	-0,08
Boltenhagen, klein	48	47,00	0,00	96,51	26	24,11	0,00
Boltenhagen, groß	25	108,82	0,00	143,50	13	55,02	0,00

4.9.2.3 Sommergerste Direktsaat

Die Tabelle 64 und die Tabelle 65 zeigen die Ergebnisse des direkten Anbauverfahrens der Sommergerste ohne und mit Windauflage. Auch hier ergibt sich in Gießen eine nur geringe Steigerung um 1 Maschine für den großen und den kleinen Betrieb sowie eine leichte Steigerung der Kosten der Aussaat von 1,24 €/ha (klein) und 7,39 €/ha (groß). Die Steigerung der Maschinen und der Kosten der Aussaat beträgt für den kleinen Betrieb in Teterow 11 Maschinen und 59,68 €/ha und in Boltenhagen 8 Maschinen und 77,42 €/ha. Für große Betriebe in Teterow sind es 6 Maschinen und 49,00 €/ha und in Boltenhagen 7 Maschinen und 54,26 €/ha. Kosten durch Ertragsverluste liegen ohne Windauflage in Gießen bei 4,19 €/ha für den kleinen Betrieb und in Boltenhagen bei 2,93 €/ha für den großen Betrieb vor. Kosten durch Ertragsverluste treten bei Windauflage in Teterow (groß) mit 4,69 €/ha, Boltenhagen (klein) mit 34,02 €/ha und Boltenhagen (groß) mit 5,50 €/ha auf. In Gießen ergibt sich durch die Windauflage ein Ertragszuwachs von 0,23 dt/ha. Da hier ohne Windauflage ein kleiner Ertragsverlust günstiger als eine zusätzliche Maschine ist, kommt es durch die zusätzliche Maschine mit Windauflage zu einer Ertragssteigerung, wenngleich die Kosten der Aussaat durch die höheren Maschinenkosten insgesamt steigen. Ertragsverluste treten in Teterow (groß) mit 0,26 dt/ha, in Boltenhagen (klein) mit 1,85 dt/ha und in Boltenhagen (groß) mit 0,14 dt/ha zutage. Die Kosten der Aussaat fallen in allen Fällen für die großen Betriebe günstiger aus. Auch bei der Differenz der Kosten zur Aussaat schneiden die großen Betriebe, mit Ausnahme von Gießen, günstiger ab als die kleinen Betriebe.

Tabelle 64: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste Direktsaat, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)
Gießen, klein	5	39,13	4,19	71,72
Gießen, groß	3	34,16	0,00	55,83
Teterow, klein	9	60,83	0,00	89,23
Teterow, groß	5	48,93	0,00	70,60
Boltenhagen, klein	13	82,53	0,00	110,93
Boltenhagen, groß	7	63,70	2,93	88,30

Tabelle 65: Kostenminimaler Maschineneinsatz Sommergerste Direktsaat, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Maschinen (n)	Differenz Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Ertrag (dt/ha)
Gießen, klein	6	44,55	0,00	72,96	1	1,24	0,23
Gießen, groß	4	41,54	0,00	63,22	1	7,39	0,00
Teterow, klein	20	120,50	0,00	148,91	11	59,68	0,00
Teterow, groß	11	93,24	4,69	119,60	6	49,00	-0,26
Boltenhagen, klein	21	125,93	34,02	188,35	8	77,42	-1,85
Boltenhagen, groß	14	115,39	5,50	142,57	7	54,26	-0,14

4.9.2.4 Ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren der Sommergerste durch die Direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistungen

Die Tabelle 66 zeigt die DAKfL der Anbauverfahren der Sommergerste. Durch die Windauflage ergeben sich keine Veränderungen hinsichtlich der ökonomischen Vorzüglichkeit der Anbauverfahren, sodass unabhängig von der Betriebsgröße das direkte Anbauverfahren zu den höchsten DAKfL führt. Das nichtwendende Anbauverfahren erwirtschaftet höhere DAKfL als das wendende Anbauverfahren, welches zu den niedrigsten DAKfL führt. Beim wendenden Anbauverfahren besitzen die kleinen Betriebe mit Ausnahme von Gießen (mit und ohne Windauflage) und Teterow (ohne Windauflage) niedrigere Kosten zur Aussaat als die großen Betriebe. Beim nichtwendenden Anbauverfahren liegt der Kostenvorteil, mit Ausnahme von Gießen (ohne Wind), ebenfalls bei den kleinen Betrieben. Beim direkten Anbauverfahren liegt der Kostenvorteil bei der Aussaat in allen Fällen beim großen Betrieb. Wie Tabelle 62 zeigt, liegen die höheren DAKfL unabhängig vom Kostenvorteil der Aussaat in allen Fällen bei den großen Betrieben.

Tabelle 66: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (€/ha) für Sommergerste nach Anbauverfahren und Betriebstyp (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbauverfahren, Betriebstyp	Gießen	Teterow	Boltenhagen	Gießen_W	Teterow_W	Boltenhagen_W
wendend, klein	91,08	87,52	82,88	90,30	75,39	67,12
wendend, groß	252,38	243,92	235,45	252,38	219,49	205,17
nichtwendend, klein	153,40	147,83	141,34	151,54	129,29	117,24
nichtwendend, groß	319,86	307,16	290,23	315,62	263,37	235,20
Direktsaat, klein	278,81	261,30	239,60	277,57	201,62	162,17
Direktsaat, groß	478,67	463,90	446,19	471,28	414,89	391,93

W = Windauflage

4.9.3 Mais

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz für die Aussaat des wendenden und des nichtwendenden Anbauverfahrens für den Mais dargestellt. Da beide Anbauverfahren zum selben Ergebnis führen, erfolgt hier eine zusammenfassende Darstellung. Danach wird auf die Ergebnisse der DAKfL der Anbauverfahren eingegangen.

4.9.3.1 Mais wendend und nichtwendend

Die Tabelle 67 und die Tabelle 68 umfassen die Ergebnisse des wendenden und des nichtwendenden Anbauverfahrens für Mais ohne und mit Windauflage. Durch die Windauflage ergeben sich in Gießen keinerlei Änderungen. Bei den kleinen Betrieben erhöht sich die Maschinenanzahl um 8 Maschinen in Teterow und um 4 Maschinen in Boltenhagen. Ebenfalls steigen die Kosten zur Aussaat dort um jeweils 3,60 €/ha und 5,13 €/ha. Für die großen Betriebe in Teterow und Boltenhagen kommt jeweils 1 Maschine mehr zum Einsatz, wodurch die Kosten der Aussaat um 3,97 €/ha und um 8,47 €/ha steigen. Kosten durch Ertragsverluste liegen ohne Windauflage in Gießen mit 0,09 €/ha für den kleinen Betrieb und mit 0,20 €/ha für den großen Betrieb sowie in Boltenhagen (ohne Windauflage) mit 0,09 €/ha für den kleinen Betrieb vor. Mit Windauflage gibt es Kosten durch Ertragsverluste in allen Stationen, wobei gilt: Gießen < Teterow < Boltenhagen und kleiner Betrieb < großer Betrieb. Ertragseinbußen durch die Windauflage entstehen in Teterow (klein) mit 0,09 dt/ha, in Teterow (groß) mit 0,65 dt/ha, in Boltenhagen (klein) mit 0,87 dt/ha und in Boltenhagen (groß) mit 0,91 dt/ha. In Unabhängigkeit von der Windauflage und dem Standort liegen die Kosten der Aussaat für die großen Betriebe immer unterhalb der Kosten der Aussaat kleiner Betriebe. Beim Mais liegen die Kosten für die Aussaat zwischen den Stationen näher beieinander als bei den vorangegangenen Kulturen Winterweizen und Sommergerste, was durch die insgesamt hohe Anzahl an FAT bei allen Stationen zurückzuführen ist (siehe Tabelle 40). Auch die Differenzen zur Aussaat fallen im Hinblick auf Winterweizen und Sommergerste hier eher gering aus.

Tabelle 67: Kostenminimaler Maschineneinsatz Mais wendend und nichtwendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)
Gießen, klein	9	31,38	0,09	63,93
Gießen, groß	3	32,68	0,20	47,51
Teterow, klein	8	30,97	0,00	63,44
Teterow, groß	3	32,68	0,00	47,31
Boltenhagen, klein	11	32,19	0,09	64,74
Boltenhagen, groß	4	34,04	0,00	48,67

Tabelle 68: Kostenminimaler Maschineneinsatz Mais wendend und nichtwendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Maschinen (n)	Differenz Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Ertrag (dt/ha)
Gießen, klein	9	31,38	0,09	63,93	0	0,00	0,00
Gießen, groß	3	32,68	0,20	47,51	0	0,00	0,00
Teterow, klein	16	34,21	0,36	67,04	8	3,60	-0,09
Teterow, groß	4	34,04	2,60	51,28	1	3,97	-0,65
Boltenhagen, klein	15	33,81	3,60	69,88	4	5,13	-0,87
Boltenhagen, groß	5	38,84	3,67	57,14	1	8,47	-0,91

4.9.3.2 Ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren des Mais durch die Direkt- und arbeits-erledigungskostenfreien Leistungen

Wie Tabelle 69 zeigt, führt die Windauflage zu keinen Veränderungen hinsichtlich der ökonomischen Vorzüglichkeit der Anbauverfahren. So gilt für den großen Betrieb grundsätzlich das wendende und für den kleinen Betrieb grundsätzlich das nichtwendende Anbauverfahren als das ökonomisch sinnvollste im Hinblick auf die DAKfL. Die großen Betriebe erwirtschaften alle eine positive DAKfL, während die kleinen Betriebe alle negative DAKfL aufweisen.

Tabelle 69: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (€/ha) für Mais nach Anbauverfahren und Betriebstyp (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbauverfahren, Betriebstyp	Gießen	Teterow	Boltenhagen	Gießen_W	Teterow_W	Boltenhagen_W
wendend, klein	-162,52	-162,02	-163,33	-162,52	-165,62	-168,46
wendend, groß	426,67	426,87	425,51	426,67	422,90	417,04
nichtwendend, klein	-126,84	-126,34	-127,65	-126,84	-129,94	-132,78
nichtwendend, groß	356,27	356,47	355,11	356,27	352,50	346,64

W = Windauflage

4.9.4 Zuckerrübe

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz für die Aussaat des wendenden und des nichtwendenden Anbauverfahrens der Zuckerrüben dargestellt. Da beide Anbauverfahren zum selben Ergebnis führen, erfolgt hier eine zusammenfassende Darstellung. Danach werden die Ergebnisse der DAKfL der beiden Anbauverfahren wiedergegeben.

4.9.4.1 Zuckerrübe wendend und nichtwendend

Die Tabelle 70 und die Tabelle 71 umfassen die Ergebnisse des wendenden und des nichtwendenden Anbauverfahrens für Zuckerrüben ohne und mit Windauflage. Für den großen Betrieb in Gießen ergeben sich durch die Windauflage keinerlei Änderungen, für den kleinen Betrieb steigt die Anzahl der Maschinen um 1 an. Die Kosten zur Aussaat erhöhen sich dabei aber nur marginal um 0,48 €/ha. Für die kleinen Betriebe in Teterow und Boltenhagen steigt die Maschinenzahl um 10 und um 25 Maschinen an und die Kosten zur Aussaat steigen um 17,35 €/ha und um 46,88 €/ha an. Für die großen Betriebe steigt die Anzahl der Maschinen in Teterow und Boltenhagen um 3 und 8 Maschinen an und die Kosten zur Aussaat steigen hier um 14,66 €/ha und um 41,39 €/ha an. Weder ohne noch mit Windauflage kommt es in irgendeinem Fall zu Kosten durch Ertragsverluste, sodass durch die Windauflage auch keine Veränderungen beim durchschnittlichen Ertrag entstehen. Bei den Kosten der Sämaschinen sowie den Kosten zur Aussaat insgesamt liegt der Vorteil in allen Fällen bei den großen Betrieben, bei welchen darüber hinaus auch die Differenz der Kosten der Aussaat geringer ausfällt als bei den kleinen Betrieben.

Tabelle 70: Kostenminimaler Maschineneinsatz Zuckerrübe wendend und nichtwendend, ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)
Gießen, klein	12	37,10	0,00	70,99
Gießen, groß	4	35,90	0,00	50,84
Teterow, klein	15	38,53	0,00	72,41
Teterow, groß	5	37,11	0,00	52,05
Boltenhagen, klein	16	39,00	0,00	72,89
Boltenhagen, groß	5	37,11	0,00	52,05

Tabelle 71: Kostenminimaler Maschineneinsatz Zuckerrübe wendend und nichtwendend, mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station, Mechanisierung	Maschinen (n)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Maschinen (n)	Differenz Kosten Aussaat (€/ha)	Differenz Ertrag (dt/ha)
Gießen, klein	13	37,58	0,00	71,46	1	0,48	0,00
Gießen, groß	4	35,90	0,00	50,84	0	0,00	0,00
Teterow, klein	25	55,88	0,00	89,76	10	17,35	0,00
Teterow, groß	8	51,77	0,00	66,71	3	14,66	0,00
Boltenhagen, klein	41	85,88	0,00	119,76	25	46,88	0,00
Boltenhagen, groß	13	78,50	0,00	93,44	8	41,39	0,00

4.9.4.2 Ökonomischer Vergleich der Anbauverfahren der Zuckerrübe durch die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen

Wie Tabelle 72 zeigt, führt die Windauflage zu keinen Veränderungen hinsichtlich der ökonomischen Vorzüglichkeit der Anbauverfahren. Das nichtwendende Anbauverfahren führt in allen Fällen zu höheren DAKfL als das wendende Anbauverfahren. Des Weiteren erwirtschaften die großen Betriebe in allen Fällen höhere DAKfL als die kleinen Betriebe.

Tabelle 72: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (€/ha) für Zuckerrübe nach Anbauverfahren und Betriebstyp (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbauverfahren, Betriebstyp	Gießen	Teterow	Boltenhagen	Gießen_W	Teterow_W	Boltenhagen_W
wendend, klein	508,38	506,96	506,48	507,91	489,61	459,61
wendend, groß	707,21	706,00	706,00	707,21	691,34	664,61
nichtwendend, klein	522,84	521,42	520,94	522,37	504,07	474,07
nichtwendend, groß	733,12	731,91	731,91	733,12	717,25	690,52

W = Windauflage

4.10 Ergebnisse der Risikoanalyse

Die Tabellen im folgenden Kapitel zeigen die Ergebnisse zu dem Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$), bestehend aus den Kosten der Sämaschinen und den Kosten durch Ertragsverluste sowie das Streuungsmaß dieser Aussaatkosten ($D10_90$). Dabei wurden 1000 ha Gesamtfläche unterstellt und Berechnungen für risikoaverse Mechanisierung ($M_{rav} Q(0,10)$), mittlere risikoaverse Mechanisierung ($M_{mrav} Q(0,20)$), mittlere risikoaffine Mechanisierung ($M_{mraf} Q(0,30)$) und risikoaffine Mechanisierung ($M_{raf} Q(0,40)$) durchgeführt, wobei für alle Mechanisierungsalternativen eine ex-ante festgelegte Maschinenanzahl zugrunde lag – jeweils ohne und mit Windauflage. Die ex-ante festgelegte Maschinenanzahl ist jeweils mit angegeben. Die Ergebnisse dieses Kapitels beruhen auf der Annahme einer unbegrenzten Anzahl an Arbeitskräften (siehe Kapitel 3.12). Detailliertere Ergebnisse wie sie folgend in Tabelle 73 zu finden sind, sind als Excel-Tabellen auf der beigelegten CD-ROM beziehungsweise im ergänzenden Datensatz auf JLUpub (<https://jlupub.uni-giessen.de/handle/jlupub/21717>) enthalten.

Da bereits in den vorangegangenen Ergebniskapiteln auf die Unterschiede der Aussaatkosten ohne und mit Windauflage innerhalb einer Station, zwischen den Stationen sowie zwischen kleinen und großen Betrieben eingegangen wurde, beschränkt sich die Ergebniserläuterung an dieser Stelle darauf, welche Mechanisierung zu den geringsten Erwartungswerten der Aussaatkosten führt und welche Veränderungen sich dabei durch die Windauflage ergeben.

Durch die Methode zur Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes und des dazugehörigen Erwartungswertes der Aussaatkosten für die Risikoanalyse (siehe Kapitel 3.14) ergeben sich für die Sommergerste und die Zuckerrübe in Gießen teilweise augenscheinlich paradoxe Ergebnisse, die im Gegensatz zur Hypothese 2 stehen und bei denen der Erwartungswert der Aussaatkosten ohne Windauflage höher als der Erwartungswert der Aussaatkosten mit Windauflage ist. Die Ergebnisse erscheinen deshalb paradox, da mit der Erhöhung der Zahl der Maschinen durch die Windauflage eine Erhöhung des Erwartungswertes der Aussaatkosten antizipiert wird. Die Ertragsverluste in den extrem unwahrscheinlichen Quantilen (Feldarbeitstage (FAT), die mit 95 % oder 100 % Wahrscheinlichkeit mindestens zur Verfügung stehen) scheinen hier jedoch die Mehrkosten der zusätzlichen Maschinen zu überwiegen. Eine ausführliche Erklärung hierfür findet sich in Kapitel 5.4.3.

Zur Einordnung der Ergebnisse und zum Verständnis der verwendeten Methoden werden in Tabelle 73 und der Abbildung 11 bis zur Abbildung 13 zunächst beispielhaft die Ergebnisse der kumulativen Dichtefunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen auf Basis der diskret berechneten Verteilungsfunktion dargestellt. Diese wurden bei gegebener ex-ante festgelegten Maschinenanzahl für die Sommergerste (Direktsaat) in einem kleinen Betrieb in Teterow ermittelt.

Die Ergebnisse für die FAT und den kostenminimalen Maschineneinsatz wurden auf Basis des 20 %-Quantils berechnet. Für die Risikoanalyse wurden zusätzlich das 10 %-Quantil, das 30 %-Quantil und das 40 %-Quantil ermittelt. In der Risikoanalyse werden diese Quantile ausschließlich als Mechanisierungsalternativen und nicht direkt als Quantile bezeichnet. Um die Ergebnisse klar zu verstehen, ist es wichtig zu betonen, dass im Folgenden bei der Angabe von Prozentwerten stets das Komplement der 21 Quantilswerte (0 %-Quantil bis 100 %-Quantil, gestuft in 5 %-Schritten) gemeint ist. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit, mit der die FAT mindestens zur Verfügung stehen, von zentraler Bedeutung ist. Für ein besseres Verständnis von Tabelle 73 sowie der Abbildung 11 bis Abbildung 13 wird an dieser Stelle auf die Gleichungen 16, 17 und 18 in Kapitel 3.4 verwiesen.

Tabelle 73 zeigt den nach Kapitel 3.14 berechneten Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$) sowie das Streuungsmaß (D_{10_90}) für die Mechanisierungsalternativen ohne und mit Windauflage, einschließlich der ex-ante festgelegten Maschinenanzahl.

In dem vorliegenden Beispiel zeigt sich, dass die angenommene kostenminimale Maschinenanzahl mit zunehmender Risikoaversion ansteigt und mit Windauflage höher ist als ohne Windauflage. Das Streuungsmaß nimmt mit steigender Risikoaversion ab.

Beispielsweise beträgt die für $M_{raf} Q(0,40)$ angenommene kostenminimale Maschinenanzahl ohne Windauflage 8 und mit Windauflage 13 Maschinen. Für die Berechnung der Verteilungsfunktion der FAT wurden die 21 Quantilswerte vom 0 %-Quantil bis zum 100 %-Quantil bei jeweils 8 und 13 Maschinen ermittelt. Das bedeutet, dass zum Beispiel ein Landwirt, der seine Mechanisierung von 8 Maschinen anhand $M_{raf} Q(0,40)$ festlegt, die FAT aber in der Regel nicht exakt dem bei dieser Mechanisierungsalternative unterstellten Wert entsprechen, sondern dem der FAT-Verteilungsfunktion für 21 Quantilswerte folgen. So werden für jeden Quantilswert die Aussaatkosten bei ex-ante angenommenen 8 Maschinen berechnet. Aus den 21

Quantilswerten ergibt sich dann durch den Gewichtungsfaktor der Erwartungswert der Aussaatkosten. Dieser beträgt 77,67 €/ha ohne Windauflage und 147,89 €/ha mit Windauflage. Das Streuungsmaß beträgt 44,43 €/ha beziehungsweise 285,73 €/ha.

Bei den 21 Quantilswerten bei jeweils festgelegter Maschinenanzahl nach Mechanisierungsalternative zeigt sich, dass die Aussaatkosten mit abnehmendem Quantilswert sinken. Dies ist darin begründet, dass der Quantilswert von 100 % die FAT beinhaltet, die mit 100 % Wahrscheinlichkeit zur Verfügung stehen. Mit fallendem Quantilswert, also fallender Wahrscheinlichkeit der Verfügbarkeit, stehen mehr FAT zur Verfügung. Das bedeutet, dass die Anzahl der FAT, die mit 60 % Wahrscheinlichkeit zur Verfügung stehen, größer ist als die Anzahl der FAT, die mit 100 % Wahrscheinlichkeit zur Verfügung stehen. Bei beispielsweise 8 festgelegten Maschinen sind die Aussaatkosten aufgrund der aussaatbedingten Ertragsverluste beim 100 %-Quantil größer als beim 80 %-Quantil.

Tabelle 73: Aussaatkosten (€/ha) der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Sommergerste in Teterow (Direktsaat) mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnungen)

	Aussaatkosten (€/ha) ohne Windauflage				Aussaatkosten (€/ha) mit Windauflage				
	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)	
ex-ante festgelegte Maschinenanzahl Q(1-p)	8	8	9	12	13	15	20	23	Gewichtungs- faktoren
100%	351,34	351,34	319,24	222,93	678,69	689,54	716,66	732,94	0,025
95%	274,86	274,86	233,19	127,21	536,97	526,02	498,64	482,21	0,05
90%	102,83	102,83	95,85	77,10	368,26	331,35	239,08	183,71	0,05
85%	76,01	76,01	65,69	77,10	243,97	187,94	153,18	152,36	0,05
80%	65,29	65,29	60,83	77,10	155,40	129,41	120,50	136,78	0,05
75%	55,40	55,40	60,83	77,10	98,45	93,38	120,50	136,78	0,05
70%	55,40	55,40	60,83	77,10	98,45	93,38	120,50	136,78	0,05
65%	55,40	55,40	60,83	77,10	85,37	93,38	120,50	136,78	0,05
60%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
55%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
50%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
45%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
40%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
35%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
30%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
25%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
20%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
15%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
10%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
5%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
0%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,025
E(K) (€/ha)	77,67	77,67	77,90	83,25	147,89	148,34	161,87	172,08	
D10_90 (€/ha)	47,43	47,43	35,03	0,00	285,73	237,97	118,58	46,94	

Q = Quantil, p = Wahrscheinlichkeit, E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf}Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf}Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav}Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav}Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

Abbildung 11 zeigt die Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ohne Windauflage. Der Verlauf von $M_{raf} Q(0,40)_M(8)$ entspricht dem von $M_{mraf} Q(0,30)_M(8)$, weshalb $M_{raf} Q(0,40)_M(8)$ nicht sichtbar ist. Vom 100 %-Quantil bis zum 90 %-Quantil sinken die Aussaatkosten mit zunehmender Risikoaversion. Beim 85 %-Quantil betragen die Aussaatkosten für $M_{raf} Q(0,40)_M(8)$ und $M_{mraf} Q(0,30)_M(8)$ 76,01 €/ha. Die Aussaatkosten sind hier aber für $M_{rav} Q(0,10)_M(12)$ mit 77,10 €/ha höher als für $M_{mraf} Q(0,20)_M(9)$ mit 65,69 €/ha. Auch beim 80 %-Quantil sind die Aussaatkosten für $M_{rav} Q(0,10)_M(12)$ mit 77,10 €/ha höher als für $M_{mraf} Q(0,20)_M(9)$ mit 60,83 €/ha. Ab dem 75 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil gilt für die Aussaatkosten $M_{raf} Q(0,40)_M(8)$ und $M_{mraf} Q(0,30)_M(8) < M_{mraf} Q(0,20)_M(9) < M_{rav} Q(0,10)_M(12)$.

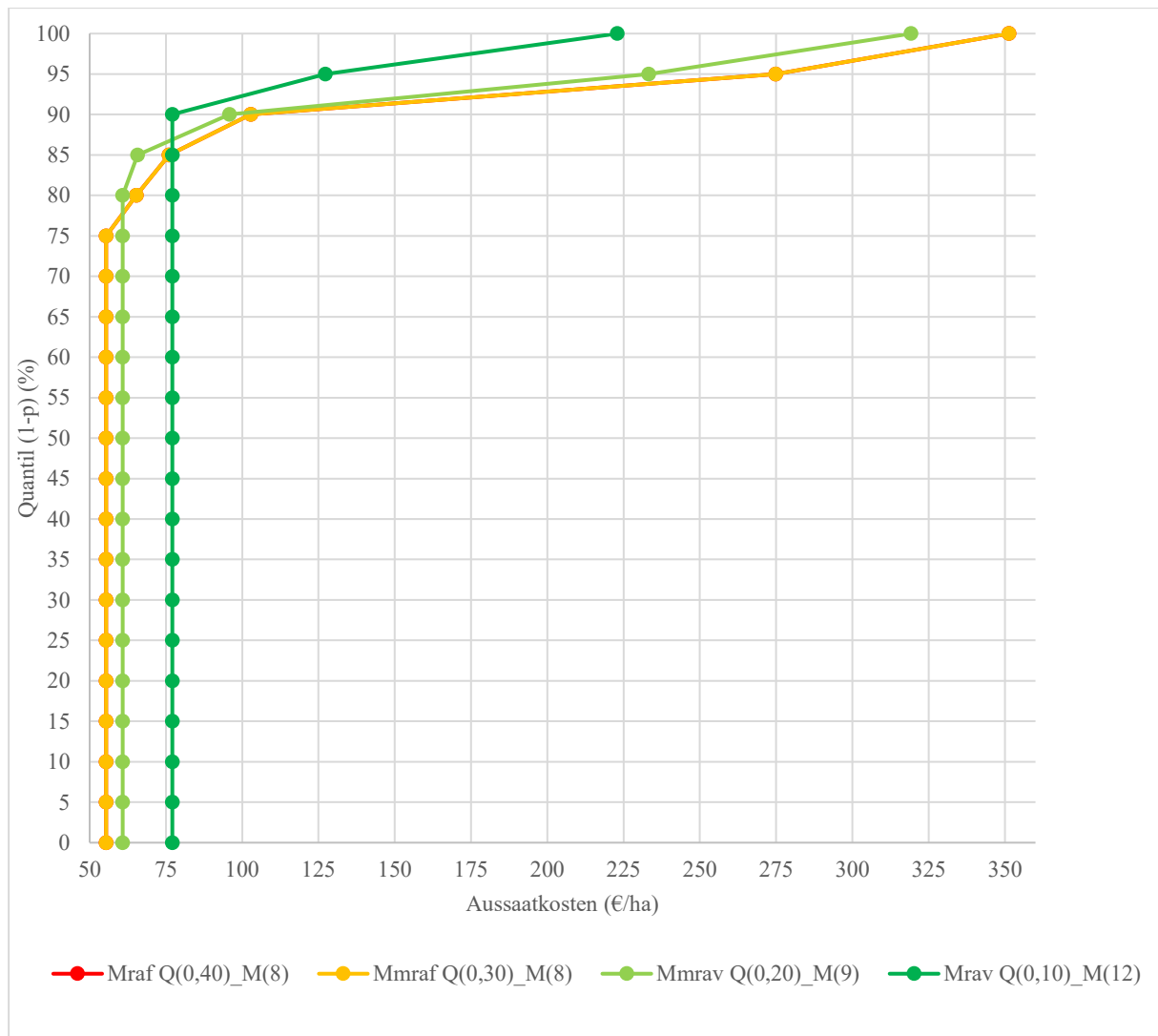


Abbildung 11: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste in Teterow (Direktsaat) ohne Windauf- lage [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)

Abbildung 12 zeigt die Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl mit Windauf- lage für den ansonsten gleichen Beispielsfall. Beim 100 %-Quantil steigen die Aussaatkosten mit zunehmender Risiko- aversion an. Vom 95 %-Quantil bis zum 85 %-Quantil ist das Gegenteil der Fall. Beim 80 %-Quantil ergibt sich für die Aussaatkosten folgende Reihenfolge: $M_{raf} Q(0,40)_M(13) > M_{rav} Q(0,10)_M(23) > M_{mraf} Q(0,30)_M(15) > M_{mrav} Q(0,20)_M(20)$. Für das 75 %-Quantil und das 70 %-Quantil gilt: $M_{rav} Q(0,10)_M(23) > M_{mrav} Q(0,20)_M(20) > M_{raf} Q(0,40)_M(13) >$

$M_{\text{mraf}}(Q(0,30))_M(15)$. Vom 65 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil gilt: $M_{\text{rav}} Q(0,10)_M(23) > M_{\text{mraf}} Q(0,20)_M(20) > M_{\text{mraf}}(Q(0,30))_M(15) > M_{\text{raf}} Q(0,40)_M(13)$.

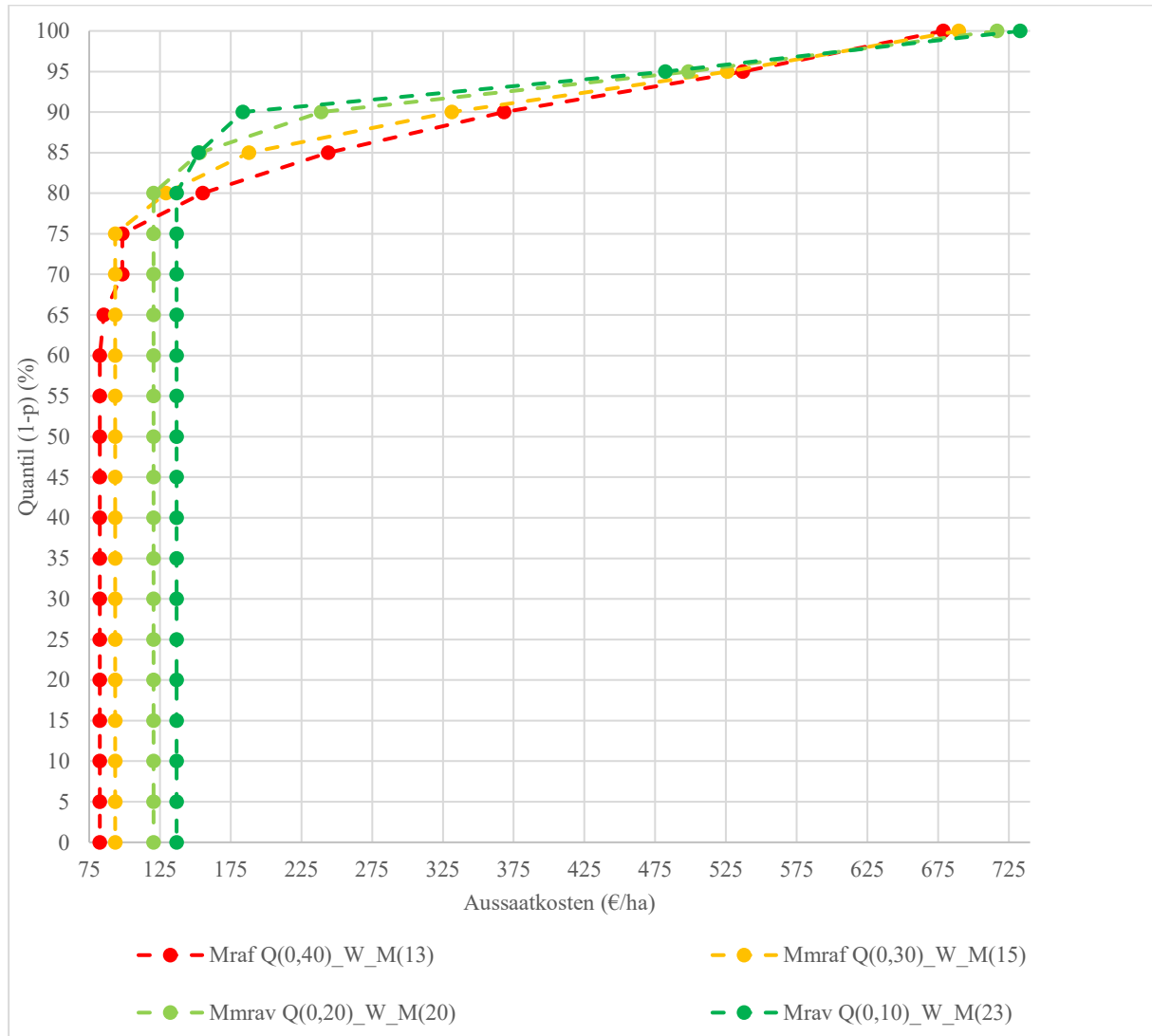


Abbildung 12: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste in Teterow (Direktsaat) mit Windauflage (W) [$M_{\text{raf}} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{\text{mraf}} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)

Abbildung 13 zeigt abschließend die Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl sowohl ohne als auch mit Windauflage und ist somit eine Kombination aus Abbildung 11 und Abbildung 12.

Um den interessanten Bereich im "Knick" der Funktionen besser darstellen zu können, ist die Darstellung der Aussaatkosten in Abbildung 13 auf 350 €/ha beschränkt. Die abgeschnittenen Werte sind in Tabelle 73 zu finden. Im Vergleich zeigen sich die Kurvenverläufe insgesamt stark wechselhaft, insbesondere bei hohen Quantilen. Die Vorteilhaftigkeit der Mechanisierungsalternativen untereinander ist unstetig und kann erst mit dem gewichteten Erwartungswert der Aussaatkosten abschließend beurteilt werden. Im übertragenen Sinne und ohne Berücksichtigung des Gewichtungsfaktors können die FAT-Verteilungsfunktionen für 21 Quantilswerte für eine festgelegte Maschinenanzahl mit einem Landwirt verglichen werden, der zum Beispiel seine Mechanisierung anhand von $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ festlegt. Im Zeitraum von 21 Jahren kann die Wahl seiner Mechanisierungsalternative im Vergleich mit den anderen Mechanisierungsalternativen in einigen Jahren von Vorteil, in anderen Jahren von Nachteil und in wiederum anderen Jahren unerheblich sein. Entscheidend sind letztendlich die durchschnittlichen Kosten nach 21 Jahren. Dies entspricht im übertragenen Sinne dem Erwartungswert der Aussaatkosten, der hier gewichtet wird, um den Einfluss der beiden äußersten Quantilswerte auf das Ergebnis abzuschwächen.

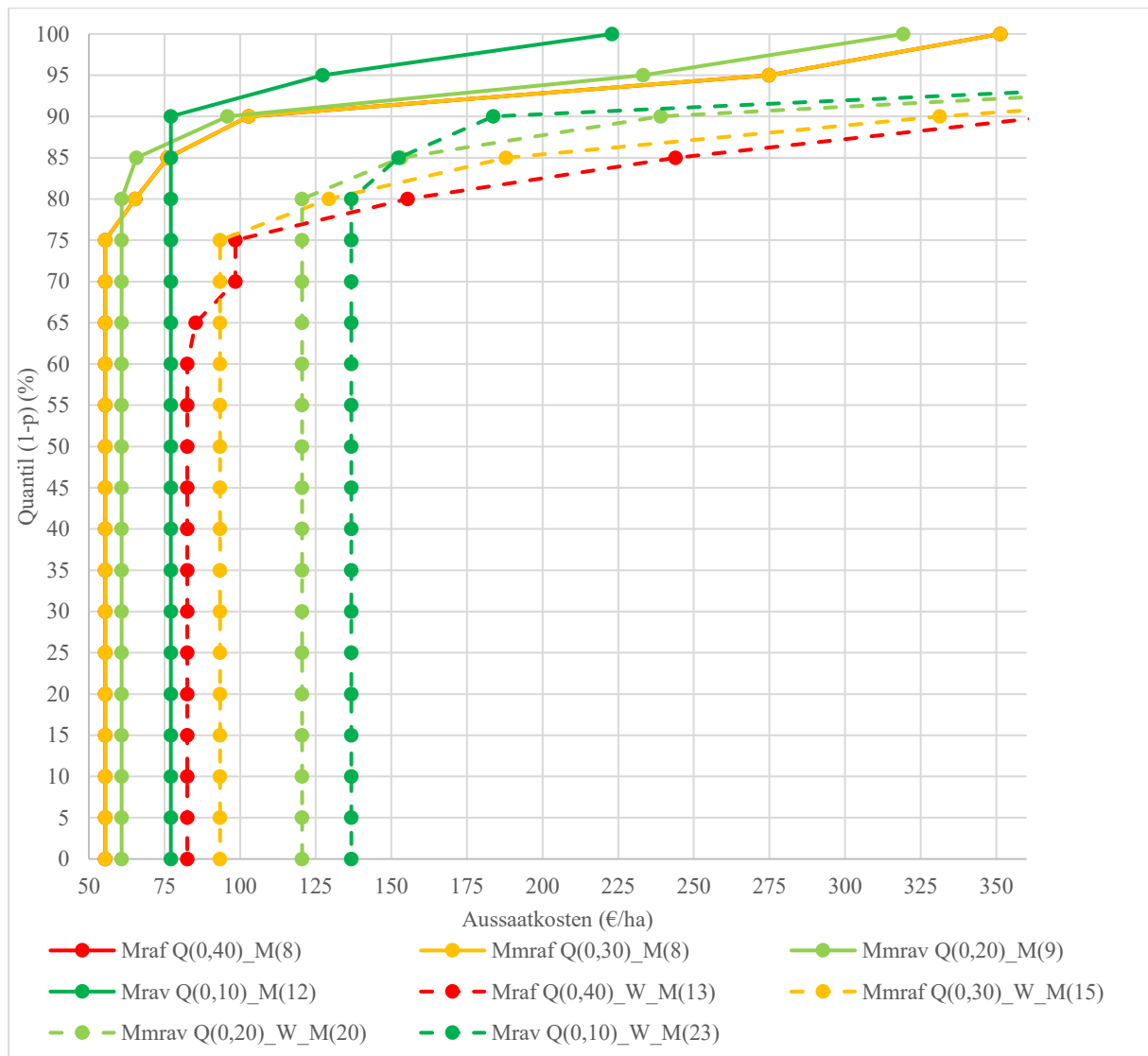


Abbildung 13: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (M()) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste in Teterow (Direktsaat) ohne und mit Windauflage (W) [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)

4.10.1 Winterweizen

Im Folgenden werden die Ergebnisse für den Erwartungswert der Aussaatkosten der verschiedenen Mechanisierungsalternativen zur Risikobewertung für das wendende, das nichtwendende und das direkte Anbauverfahren (Direktsaat) für Winterweizen dargestellt.

4.10.1.1 Winterweizen wendend

Tabelle 74 zeigt die Ergebnisse des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für das wendende Anbauverfahren basierend auf der ex-ante festgelegten Maschinenzahl.

Für den kleinen Betrieb in Gießen führen $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ mit 9,01 €/ha zu einem geringeren Erwartungswert der Aussaatkosten als die risikoaffinen Mechanisierungsalternativen, wobei bei diesen das Streuungsmaß mit 0,00 €/ha niedriger ist. Durch die Windauflage führen alle Mechanisierungsalternativen zum selben Erwartungswert der Aussaatkosten in Höhe von 9,47 €/ha und dem gleichen Streuungsmaß von 0,52 €/ha. Für den großen Betrieb führen alle Mechanisierungsalternativen ohne und mit Windauflage ebenfalls zum gleichen Erwartungswert der Aussaatkosten mit gleichem Streuungsmaß, wobei der Erwartungswert der Aussaatkosten ohne Windauflage mit 16,16 €/ha niedriger ist als mit Windauflage, wo dieser 16,27 €/ha beträgt.

Für den kleinen Betrieb in Teterow führt $M_{rav} Q(0,10)$ mit 10,18 €/ha zum höchsten Erwartungswert der Aussaatkosten und mit 0,07 €/ha zum geringsten Streuungsmaß. Für den großen Betrieb ergeben sich hier ohne Windauflage keine Unterschiede, sodass der Erwartungswert der Aussaatkosten bei allen Mechanisierungsalternativen 16,54 €/ha beträgt. Durch die Windauflage verschiebt sich der Kostenvorteil beim kleinen Betrieb zugunsten von $M_{rav} Q(0,10)$, wo der Erwartungswert der Aussaatkosten 38,16 €/ha beträgt. Beim großen Betrieb liegt der Kostenvorteil mit Windauflage mit 56,51 €/ha bei $M_{mrav} Q(0,20)$ gefolgt von $M_{rav} Q(0,10)$ mit 57,08 €/ha.

In Boltenhagen liegt der Kostenvorteil beim kleinen Betrieb ohne Windauflage mit 11,41 €/ha bei $M_{mrav} Q(0,20)$. Beim großen Betrieb ist $M_{rav} Q(0,10)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 20,33 €/ha die teuerste Mechanisierungsalternative, während der Erwartungswert der Aussaatkosten aller anderen Mechanisierungsalternativen 20,27 €/ha beträgt. Mit Windauflage verschiebt sich der Kostenvorteil beim kleinen Betrieb weiter in Richtung Risikoaversion, sodass hier $M_{rav} Q(0,10)$ mit 33,50 €/ha die günstigste Mechanisierungsalternative darstellt. Auch beim großen Betrieb fällt mit Windauflage bei $M_{rav} Q(0,10)$ mit 51,03 €/ha der niedrigste Erwartungswert der Aussaatkosten an. Vor allem beim großen Betrieb sinkt das Streuungsmaß mit Windauflage mit zunehmender Risikoaversion deutlich. Die

Windaufgabe in Boltenhagen verschiebt die Vorteilhaftigkeit der Mechanisierungsalternativen in Richtung risikoaverser Mechanisierungsalternativen.

Tabelle 74: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Winterweizen (wendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)

Standort, Mechanisierung	Maschinen (ex-ante), Erwartungswert und Streuungsmaß	ohne Windauflage				mit Windauflage			
		M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)	M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)
Gießen, klein	M()	6	6	7	7	7	7	7	7
	E(K) (€/ha)	9,01	9,01	9,41	9,41	9,47	9,47	9,47	9,47
	D10_90 (€/ha)	1,80	1,80	0,00	0,00	0,52	0,52	0,52	0,52
Gießen, groß	M()	3	3	3	3	3	3	3	3
	E(K) (€/ha)	16,16	16,16	16,16	16,16	16,27	16,27	16,27	16,27
	D10_90 (€/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	1,08	1,08	1,08
Teterow, klein	M()	7	7	7	8	11	11	14	22
	E(K) (€/ha)	9,68	9,68	9,68	10,18	44,35	44,35	41,30	38,16
	D10_90 (€/ha)	2,09	2,09	2,09	0,07	35,95	35,95	12,99	0,01
Teterow, groß	M()	3	3	3	3	3	4	5	7
	E(K) (€/ha)	16,54	16,54	16,54	16,54	75,99	63,20	56,51	57,08
	D10_90 (€/ha)	2,60	2,60	2,60	2,60	261,85	142,68	23,52	8,43
Boltenhagen, klein	M()	7	7	8	10	12	14	15	20
	E(K) (€/ha)	12,71	12,71	11,41	11,84	39,08	36,40	35,28	33,50
	D10_90 (€/ha)	6,88	6,88	3,63	0,00	18,37	10,33	7,68	0,37
Boltenhagen, groß	M()	3	3	3	4	4	4	5	5
	E(K) (€/ha)	20,27	20,27	20,27	20,33	63,85	63,85	53,06	51,03
	D10_90 (€/ha)	7,70	7,70	7,70	1,51	140,97	140,97	21,38	6,59

Q = Quantil, M() = Maschinenzahl (ex-ante), E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

4.10.1.2 Winterweizen nichtwendend

Tabelle 75 zeigt die Ergebnisse des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für das nichtwendende Anbauverfahren, basierend auf der ex-ante festgelegten Maschinenzahl.

In Gießen ist ohne Windauflage für den kleinen Betrieb $M_{raf} Q(0,40)$ mit 11,76 €/ha die günstigste Mechanisierungsalternative, während sie für den großen Betrieb mit 23,83 €/ha die ungünstige Mechanisierungsalternative darstellt. Die Werte der übrigen Mechanisierungsalternativen sind innerhalb der Mechanisierungsstufen identisch. Durch die Windauflage führt $M_{rav} Q(0,10)$ mit 13,13 €/ha für den kleinen Betrieb zu dem höchsten Erwartungswert der Aussaatkosten, während der Erwartungswert der Aussaatkosten für die restlichen Mechanisierungsalternativen mit 12,45 €/ha identisch ist. Beim großen Betrieb liegt der Kostennachteil mit Windauflage bei $M_{raf} Q(0,40)$, wo der Erwartungswert der Aussaatkosten mit 24,47 €/ha über dem Erwartungswert der Aussaatkosten der restlichen Mechanisierungsalternativen in Höhe von 22,95 €/ha liegt. Die Windauflage führt demnach beim großen Betrieb zu keinen Veränderungen bei der Vorzüglichkeit der Mechanisierungsalternativen. Beim kleinen Betrieb erweitert sich der Kostenvorteil von $M_{raf} Q(0,40)$ auf $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{mrav} Q(0,20)$.

In Teterow (klein) führt $M_{raf} Q(0,40)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 13,23 €/ha zum geringsten Erwartungswert der Aussaatkosten, während er bei den übrigen Mechanisierungsalternativen mit 13,29 €/ha und 13,93 €/ha marginal darüber liegt. Durch die Windauflage ergibt sich ein gegenteiliges Bild, bei dem der geringste Erwartungswert der Aussaatkosten mit 48,25 €/ha bei $M_{rav} Q(0,10)$ und der höchste Erwartungswert der Aussaatkosten mit 51,97 €/ha bei $M_{raf} Q(0,40)$ zu finden ist. Der Erwartungswert der Aussaatkosten für die restlichen Mechanisierungsalternativen liegt bei 49,15 €/ha. Für den großen Betrieb liegt ohne Windauflage der Kostenvorteil mit 26,97 €/ha bei $M_{mraf} Q(0,30)$, $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{rav} Q(0,10)$. Die ungünstigste Variante ist hier $M_{raf} Q(0,40)$, wo der Erwartungswert der Aussaatkosten 31,47 €/ha beträgt. Mit Windauflage haben $M_{mraf} Q(0,30)$, $M_{mrav} Q(0,20)$ mit jeweils 77,38 €/ha den niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten. $M_{raf} Q(0,40)$ führt hier mit 90,97 €/ha zu dem höchsten Erwartungswert der Aussaatkosten, gefolgt von $M_{rav} Q(0,10)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten in Höhe von 77,52 €/ha. Die Windauflage führt beim kleinen Betrieb zu einem Vorteil der risikoaversen Mechanisierungsalternativen gegenüber den risikoaffinen, während sich beim großen Betrieb ein differenzierteres Bild ergibt.

In Boltenhagen führen $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ und $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten in Höhe von 15,48 €/ha ohne Windauflage und 43,39 €/ha mit Windauflage zu der günstigsten Aussaat für den kleinen Betrieb. Ohne Windauflage führt $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ mit 16,95 €/ha zu einem leicht höheren Erwartungswert der Aussaatkosten im Vergleich zum risikoaversen $M_{\text{rav}} Q(0,10)$, bei dem der Erwartungswert der Aussaatkosten 16,54 €/ha beträgt. Dies gilt auch für den Erwartungswert der Aussaatkosten mit Windauflage, wo die Kosten bei $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ bei 52,01 €/ha und bei $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ bei 43,82 €/ha liegen. Beim großen Betrieb ist $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ mit 30,25 €/ha am kostengünstigsten, während der Erwartungswert der Aussaatkosten der übrigen Mechanisierungsalternativen identisch bei 34,39 €/ha liegt. Mit Windauflage ist $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ mit 72,22 €/ha weiterhin am günstigsten, während $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 101,36 €/ha mit Windauflage einen absoluten Kostennachteil hat. Die Windauflage führt auch hier allgemein zu einem Vorteil der risikoaversen gegenüber den risikoaffineren Mechanisierungsalternativen.

Tabelle 75: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Winterweizen (nichtwendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)

Standort, Mechanisierung	Maschinen (ex-ante), Erwartungswert und Streuungsmaß	ohne Windauflage				mit Windauflage			
		M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)	M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)
Gießen, klein	M()	9	10	10	10	10	10	10	11
	E(K) (€/ha)	11,76	12,30	12,30	12,30	12,45	12,45	12,45	13,13
	D10_90 (€/ha)	2,09	0,52	0,52	0,52	1,57	1,57	1,57	0,10
Gießen, groß	M()	3	4	4	4	3	4	4	4
	E(K) (€/ha)	23,83	22,40	22,40	22,40	24,47	22,95	22,95	22,95
	D10_90 (€/ha)	5,89	4,06	4,06	4,06	6,40	4,06	4,06	4,06
Teterow, klein	M()	10	11	11	12	16	19	19	23
	E(K) (€/ha)	13,23	13,29	13,29	13,93	51,97	49,15	49,15	48,45
	D10_90 (€/ha)	3,04	1,72	1,72	0,40	64,04	19,07	19,07	9,41
Teterow, groß	M()	3	4	4	4	5	7	7	11
	E(K) (€/ha)	31,47	26,97	26,97	26,97	90,97	77,38	77,38	77,52
	D10_90 (€/ha)	8,30	5,73	5,73	5,73	288,25	152,59	152,59	13,29
Boltenhagen, klein	M()	10	12	12	15	15	22	22	31
	E(K) (€/ha)	16,95	15,48	15,48	16,54	52,01	43,39	43,39	43,82
	D10_90 (€/ha)	8,40	4,16	4,16	0,21	95,33	8,84	8,84	0,00
Boltenhagen, groß	M()	4	4	4	5	5	8	8	11
	E(K) (€/ha)	34,39	34,39	34,39	30,25	101,36	72,31	72,31	72,22
	D10_90 (€/ha)	18,94	18,94	18,94	9,07	284,00	82,34	82,34	10,65

Q = Quantil, M() = Maschinenzahl (ex-ante), E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

4.10.1.3 Winterweizen Direktsaat

Tabelle 76 zeigt die Ergebnisse des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für das direkte Anbauverfahren, basierend auf der ex-ante festgelegten Maschinenzahl.

In Gießen beträgt der Erwartungswert der Aussaatkosten der kleinen Betriebe für alle Mechanisierungsalternativen 37,54 €/ha ohne Windauflage sowie 38,08 €/ha mit Windauflage. Für die großen Betriebe liegt der Erwartungswert der Aussaatkosten für alle Mechanisierungsalternativen bei 22,90 €/ha ohne Windauflage und 23,45 €/ha mit Windauflage. Auch die Streuungsmaße innerhalb der Mechanisierungsalternativen ohne und mit Windauflage haben identische Werte. In Gießen gibt es weder mit noch ohne Windauflage Vorteile beziehungsweise Nachteile bei der Wahl der Mechanisierungsalternativen bezüglich des Erwartungswertes der Aussaatkosten und des Streuungsmaßes.

Der Erwartungswert der Aussaatkosten ohne Windauflage beträgt in Teterow bei allen Mechanisierungsalternativen 42,82 €/ha für kleine und 29,09 €/ha für große Betriebe. Auch hier sind die Streuungsmaße der Mechanisierungsalternativen für kleine Betriebe identisch, während sie für große Betriebe um 1,88 €/ha variieren. Durch die Windauflage führen $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ und $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ für die kleinen Betriebe mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von jeweils 97,06 €/ha zur günstigsten Aussaat. Beim großen Betrieb ergibt sich durch die Windauflage ebenfalls bei $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ und $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 88,97 €/ha ein Kostenvorteil gegenüber den anderen Mechanisierungsalternativen. Die Windauflage führt dazu, dass die Berücksichtigung der verschiedenen Erwartungswerte der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen von Vorteil ist, während es ohne Windauflage unerheblich ist.

In Boltenhagen liegt beim kleinen und großen Betrieb ohne Windauflage der Kostenvorteil bei der Aussaat mit 48,52 €/ha und 41,07 €/ha bei $M_{\text{rav}} Q(0,10)$. Durch die Windauflage bleibt $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ mit 93,74 €/ha beim kleinen Betrieb weiterhin die günstigste Mechanisierungsalternative. Beim großen Betrieb verschiebt sich der Kostenvorteil von $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ ohne Windauflage zu $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ und $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ (jeweils 83,39 €/ha) mit Windauflage in Richtung risikoaffinerer Mechanisierungsalternativen.

Tabelle 76: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Winterweizen (Direktsaat) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)

Standort, Mechanisierung	Maschinen (ex-ante), Erwartungswert und Streuungsmaß	ohne Windauflage				mit Windauflage			
		M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)	M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)
Gießen, klein	M()	4	4	4	4	4	4	4	4
	E(K) (€/ha)	37,54	37,54	37,54	37,54	38,08	38,08	38,08	38,08
	D10_90 (€/ha)	4,25	4,25	4,25	4,25	4,86	4,86	4,86	4,86
Gießen, groß	M()	2	2	2	2	2	2	2	2
	E(K) (€/ha)	22,90	22,90	22,90	22,90	23,45	23,45	23,45	23,45
	D10_90 (€/ha)	5,39	5,39	5,39	5,39	5,93	5,93	5,93	5,93
Teterow, klein	M()	4	4	4	4	5	7	7	10
	E(K) (€/ha)	42,82	42,82	42,82	42,82	112,33	97,06	97,06	97,35
	D10_90 (€/ha)	6,39	6,39	6,39	6,39	304,17	186,64	186,64	22,29
Teterow, groß	M()	2	2	2	2	3	4	4	7
	E(K) (€/ha)	29,09	29,09	29,09	29,09	102,83	88,97	88,97	90,39
	D10_90 (€/ha)	7,27	7,27	7,27	7,27	292,17	188,03	188,03	12,32
Boltenhagen, klein	M()	4	4	4	6	6	8	8	10
	E(K) (€/ha)	52,62	52,62	52,62	48,52	110,98	96,26	96,26	93,74
	D10_90 (€/ha)	30,88	30,88	30,88	7,07	242,37	124,96	124,96	20,09
Boltenhagen, groß	M()	2	2	2	3	3	5	5	7
	E(K) (€/ha)	45,12	45,12	45,12	41,07	113,93	83,39	83,39	85,14
	D10_90 (€/ha)	101,45	101,45	101,45	10,48	288,09	80,35	80,35	9,63

Q = Quantil, M() = Maschinenzahl (ex-ante), E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

4.10.2 Sommergerste

Im Folgenden werden die Ergebnisse für den Erwartungswert der Aussaatkosten der verschiedenen Mechanisierungsalternativen zur Risikobewertung für das wendende, das nichtwendende und das direkte Anbauverfahren (Direktsaat) für Sommergerste dargestellt.

4.10.2.1 Sommergerste wendend

Tabelle 77 zeigt die Ergebnisse des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für das wendende Anbauverfahren basierend auf der ex-ante festgelegten Maschinenzahl.

In Gießen führt $M_{rav} Q(0,10)$ für beide Betriebstypen ohne und mit Windauflage zu dem geringsten Erwartungswert der Aussaatkosten und den geringsten Spannweiten. Ohne Windauflage liegt der Erwartungswert der Aussaatkosten für $M_{rav} Q(0,10)$ bei 15,48 €/ha für den kleinen und bei 23,65 €/ha für den großen Betrieb. Mit Windauflage liegt der Erwartungswert der Aussaatkosten für $M_{rav} Q(0,10)$ bei 15,19 €/ha für den kleinen und 25,43 €/ha für den großen Betrieb. Paradoxerweise ist der Erwartungswert der Aussaatkosten des kleinen Betriebes für $M_{raf} Q(0,40)$, $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{rav} Q(0,10)$ mit Windauflage günstiger als ohne Windauflage (siehe hierzu Kapitel 5.4.3).

In Teterow steigt der Erwartungswert der Aussaatkosten ohne Windauflage mit zunehmender Risikoaffinität, sodass der Kostenvorteil für den kleinen und den großen Betrieb mit 21,29 €/ha und 35,00 €/ha bei $M_{rav} Q(0,10)$ liegt. Mit Windauflage hingegen liegt der Kostenvorteil für den kleinen und den großen Betrieb mit 62,29 €/ha und 86,79 €/ha bei $M_{mrav} Q(0,20)$. Die Windauflage verschiebt den Kostenvorteil also von $M_{rav} Q(0,10)$ zu $M_{mrav} Q(0,20)$ mit geringerer Risikoaversion.

In Boltenhagen führt $M_{rav} Q(0,10)$ für den kleinen Betrieb sowohl ohne als auch mit Windauflage mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 35,25 €/ha und 55,86 €/ha zur günstigsten Aussaat und mit 0,00 €/ha zum niedrigsten Streuungsmaß. Für die restlichen Mechanisierungsalternativen gilt, dass der Erwartungswert der Aussaatkosten mit zunehmender Risikoaffinität steigt. So auch beim großen Betrieb ohne Windauflage, sodass der Kostenvorteil hier mit 53,25 €/ha bei $M_{rav} Q(0,10)$ liegt. Mit Windauflage führt $M_{rav} Q(0,10)$ jedoch mit

104,14 €/ha zu dem höchsten Erwartungswert der Aussaatkosten. Die optimale Mechanisierungsalternative mit dem geringsten Erwartungswert der Aussaatkosten ist hier $M_{mrav} Q(0,20)$ mit Kosten in Höhe von 95,09 €/ha. Durch die Windauflage ergeben sich in Boltenhagen nur für den großen Betrieb Veränderungen bezüglich der Vorteilhaftigkeit der Mechanisierungsalternativen. Der Kostenvorteil verschiebt sich hier von $M_{rav} Q(0,10)$ zu $M_{mrav} Q(0,20)$ mit geringerer Risikoaversion, wobei hier eine beachtliche Spannbreite von 200,29 €/ha vorliegt.

Tabelle 77: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Sommergerste (wendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)

Standort, Mechanisierung	Maschinen (ex-ante), Erwartungswert und Streuungsmaß	ohne Windauflage				mit Windauflage			
		M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)	M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)
Gießen, klein	M()	5	6	6	8	6	6	7	10
	E(K) (€/ha)	33,66	23,10	23,10	15,48	29,82	29,82	21,46	15,19
	D10_90 (€/ha)	96,93	33,68	33,68	0,00	95,48	95,48	35,12	0,00
Gießen, groß	M()	3	3	3	4	3	3	3	4
	E(K) (€/ha)	26,35	26,35	26,35	23,65	29,97	29,97	29,97	25,43
	D10_90 (€/ha)	19,55	19,55	19,55	0,00	39,11	39,11	39,11	3,26
Teterow, klein	M()	9	10	10	14	15	17	23	39
	E(K) (€/ha)	33,89	29,40	29,40	21,29	77,18	70,20	62,29	62,80
	D10_90 (€/ha)	59,07	39,47	39,47	0,00	264,90	227,36	114,73	0,00
Teterow, groß	M()	4	4	5	6	7	8	10	17
	E(K) (€/ha)	43,89	43,89	37,87	35,00	92,24	88,27	86,79	100,96
	D10_90 (€/ha)	59,77	59,77	26,07	1,96	263,61	218,74	128,98	2,61
Boltenhagen, klein	M()	9	11	15	17	26	26	32	49
	E(K) (€/ha)	61,97	48,79	37,84	35,25	70,22	70,22	62,17	55,86
	D10_90 (€/ha)	183,94	103,38	16,29	0,00	251,79	251,79	183,78	0,00
Boltenhagen, groß	M()	4	5	7	8	11	11	14	22
	E(K) (€/ha)	73,40	60,59	53,36	53,25	99,41	99,41	95,09	104,14
	D10_90 (€/ha)	192,98	96,78	9,78	0,00	281,18	281,18	200,29	0,00

Q = Quantil, M() = Maschinenzahl (ex-ante), E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

4.10.2.2 Sommergerste nichtwendend

Tabelle 78 zeigt die Ergebnisse des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für das nichtwendende Anbauverfahren basierend auf der ex-ante festgelegten Maschinenzahl.

In Gießen führt die Steigerung der Risikoaffinität ohne Windauflage zu einem steigenden oder gleichbleibenden Erwartungswert der Aussaatkosten. Somit ist die kostengünstigste Mechanisierungsalternative für den kleinen Betrieb mit 19,41 €/ha und für den großen Betrieb mit 35,32 €/ha $M_{rav} Q(0,10)$. Durch die Windauflage bleiben die Verhältnisse der Mechanisierungsalternativen beim kleinen Betrieb gleich, sodass auch hier $M_{rav} Q(0,10)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 20,27 €/ha die günstigste Alternative ist. Beim großen Betrieb ist $M_{rav} Q(0,10)$ hingegen nur noch die zweitgünstigste Mechanisierungsalternative nach $M_{mrv} Q(0,20)$. Der Erwartungswert der Aussaatkosten beträgt bei $M_{rav} Q(0,10)$ 40,22 €/ha. Die günstigste Mechanisierungsalternative ist $M_{mrv} Q(0,20)$ mit einem Erwartungswert von 38,41 €/ha, wobei hier das Streuungsmaß 25,66 €/ha beträgt. Die Windauflage führt nur beim großen Betrieb zu Veränderungen. Der Kostenvorteil verschiebt sich hier von $M_{rav} Q(0,10)$ zu $M_{mrv} Q(0,20)$ mit geringerer Risikoaversion. Paradoxerweise ist der Erwartungswert der Aussaatkosten des kleinen Betriebes für $M_{mrv} Q(0,20)$ und des großen Betriebs für $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ mit Windauflage günstiger als ohne Windauflage (siehe hierzu Kapitel 5.4.3).

Auch in Teterow steigt beim kleinen Betrieb der Erwartungswert der Aussaatkosten und das Streuungsmaß mit zunehmender Risikoaffinität an, sodass auch hier $M_{rav} Q(0,10)$ mit 27,97 €/ha für den Erwartungswert der Aussaatkosten und einem Streuungsmaß von 0,00 €/ha die günstigste Mechanisierungsalternative ist. Für den großen Betrieb stellen allerdings $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{mrv} Q(0,20)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten in Höhe von jeweils 55,39 €/ha die günstigste Mechanisierungsalternative dar. Der Erwartungswert der Aussaatkosten von $M_{rav} Q(0,10)$ liegt mit 55,73 €/ha unter dem Erwartungswert der Aussaatkosten von $M_{raf} Q(0,40)$ in Höhe von 58,89 €/ha. $M_{raf} Q(0,40)$ weist also den höchsten Erwartungswert der Aussaatkosten insgesamt auf. Durch die Windauflage verschiebt sich beim kleinen Betrieb der Kostenvorteil zugunsten von $M_{mrv} Q(0,20)$, bei welchem der Erwartungswert der Aussaatkosten 74,88 €/ha beträgt. Darauf folgen $M_{mraf} Q(0,30)$ mit 80,20 €/ha, $M_{rav} Q(0,10)$ mit 82,57 €/ha und $M_{raf} Q(0,40)$ mit 88,85 €/ha. Beim großen Betrieb steigt der

Erwartungswert der Aussaatkosten mit Windauflage mit zunehmender Risikoaversion tendenziell an, während die Streuung gleichsam abnimmt, sodass hier $M_{raf} Q(0,40)$ mit 119,52 €/ha zur günstigsten Aussaat führt, wobei das Streuungsmaß hier mit 288,28 €/ha am höchsten ausfällt. Durch die Windauflage zeigt sich insgesamt eine Verschiebung des Kostenvorteils hin zu den risikoaffineren Mechanisierungsalternativen.

Auch in Boltenhagen steigen beim kleinen Betrieb der Erwartungswert der Aussaatkosten und das Streuungsmaß mit zunehmender Risikoaffinität an, sodass auch hier $M_{rav} Q(0,10)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 44,05 €/ha und einem Streuungsmaß von 0,00 €/ha die günstigste Mechanisierungsalternative ist. Für den großen Betrieb liegt der Kostenvorteil mit 76,91 €/ha bei $M_{mrav} Q(0,20)$, gefolgt von $M_{rav} Q(0,10)$ mit 78,04 €/ha, $M_{mraf} Q(0,30)$ mit 78,33 €/ha und $M_{raf} Q(0,40)$ mit 89,94 €/ha. Mit Windauflage gehört für den kleinen Betrieb zusätzlich zu $M_{rav} Q(0,10)$ auch $M_{mrav} Q(0,20)$ zu den günstigsten Mechanisierungsalternativen, wobei bei beiden der Erwartungswert der Aussaatkosten 78,91 €/ha beträgt. Der Erwartungswert der Aussaatkosten für $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$ liegt mit jeweils 85,59 €/ha darüber. Beim großen Betrieb verschiebt sich der Vorteil von $M_{mrav} Q(0,20)$ zu $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$, wo der Erwartungswert der Aussaatkosten 137,84 €/ha beträgt. Beim großen Betrieb steigen die Kosten mit Windauflage mit steigender Risikoaversion, während das Streuungsmaß gleichsam kleiner wird. Die Windauflage begünstigt tendenziell die Mechanisierungsalternativen mit höherer Risikoaffinität.

Tabelle 78: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Sommergerste (nichtwendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)

Standort, Mechanisierung	Maschinen (ex-ante), Erwartungswert und Streuungsmaß	ohne Windauflage				mit Windauflage			
		M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)	M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)
Gießen, klein	M()	8	8	9	12	8	9	11	14
	E(K) (€/ha)	32,24	32,24	26,46	19,41	41,80	33,59	23,97	20,27
	D10_90 (€/ha)	70,57	70,57	34,14	0,00	153,51	100,71	30,29	0,00
Gießen, groß	M()	4	4	5	6	5	5	6	8
	E(K) (€/ha)	46,69	46,69	37,80	35,32	43,71	43,71	38,41	40,22
	D10_90 (€/ha)	97,57	97,57	27,50	3,67	74,73	74,73	25,66	0,00
Teterow, klein	M()	14	14	15	21	22	26	35	59
	E(K) (€/ha)	37,03	37,03	34,87	27,97	88,85	80,20	74,88	82,57
	D10_90 (€/ha)	47,02	47,02	39,91	0,00	285,59	232,80	114,03	0,00
Teterow, groß	M()	7	8	8	11	12	13	18	30
	E(K) (€/ha)	58,89	55,39	55,39	55,73	119,52	123,41	122,10	157,57
	D10_90 (€/ha)	69,03	38,13	38,13	0,00	288,28	215,01	127,91	3,67
Boltenhagen, klein	M()	13	17	22	26	38	38	48	73
	E(K) (€/ha)	71,63	54,40	46,27	44,05	85,59	85,59	78,91	78,91
	D10_90 (€/ha)	208,16	95,01	19,71	0,00	274,55	274,55	195,25	0,00
Boltenhagen, groß	M()	7	9	12	13	20	20	25	38
	E(K) (€/ha)	89,94	78,33	76,91	78,04	137,84	137,84	143,08	173,43
	D10_90 (€/ha)	208,38	93,90	14,67	3,67	289,29	289,29	209,36	1,52

Q = Quantil, M() = Maschinenzahl (ex-ante), E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

4.10.2.3 Sommergerste Direktsaat

Tabelle 79 zeigt die Ergebnisse des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für das direkte Anbauverfahren basierend auf der ex-ante festgelegten Maschinenzahl.

In Gießen ist $M_{rav} Q(0,10)$ die kostengünstigste Mechanisierungsalternative, die für den kleinen Betrieb zu einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 55,60 €/ha und für den großen Betrieb zu einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 47,17 €/ha führt. Das Streuungsmaß liegt in beiden Fällen bei 0,00 €/ha. Für die restlichen Mechanisierungsalternativen beträgt der Erwartungswert der Aussaatkosten 56,71 €/ha für den kleinen Betrieb und 49,47 €/ha für den großen Betrieb. Das Streuungsmaß beträgt hier jeweils 37,73 €/ha und 32,23 €/ha. Mit Windauflage führt $M_{mrav} Q(0,20)$ immer zur kostengünstigsten Aussaat. Für den kleinen Betrieb liegt der Erwartungswert der Aussaatkosten hier bei 58,06 €/ha und für den großen Betrieb bei 49,54 €/ha. Es folgt $M_{rav} Q(0,10)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 60,34 €/ha (klein) und 52,25 €/ha (groß), sowie $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$, welche einen identischen Erwartungswert der Aussaatkosten von 64,99 €/ha (klein) und 56,32 €/ha (groß) aufweisen. Die Windauflage verschiebt den Kostenvorteil von $M_{rav} Q(0,10)$ zu $M_{mrav} Q(0,20)$, wobei der Erwartungswert der Aussaatkosten bei $M_{rav} Q(0,10)$ niedriger als bei $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$ ist.

In Teterow kommt es ohne Windauflage mit zunehmender Risikoaffinität zu einem abnehmenden oder gleichbleibenden Erwartungswert der Aussaatkosten und steigenden oder gleichbleibenden Streuungsmaßen. Der Kostennachteil liegt sowohl beim kleinen als auch beim großen Betrieb bei $M_{rav} Q(0,10)$, wo der Erwartungswert der Aussaatkosten 83,25 €/ha beziehungsweise 69,25 €/ha beträgt. Der Kostenvorteil liegt beim kleinen Betrieb bei einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 77,67 €/ha für $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$. Beim großen Betrieb kommt zusätzlich zu $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ auch $M_{mrav} Q(0,20)$ hinzu. Für diese Mechanisierungsalternativen ergibt sich jeweils ein Erwartungswert der Aussaatkosten von 67,21 €/ha. Mit Windauflage ist für den kleinen Betrieb nur noch $M_{raf} Q(0,40)$ die günstigste Mechanisierungsalternative mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 147,89 €/ha. Beim großen Betrieb ist mit Windauflage nur noch $M_{mraf} Q(0,30)$ die günstigste Mechanisierungsalternative, bei der der Erwartungswert der Aussaatkosten 130,57 €/ha beträgt. Darauf folgen $M_{raf} Q(0,40)$ mit 134,63 €/ha, $M_{mrav} Q(0,20)$ mit 136,48 €/ha sowie

$M_{rav} Q(0,10)$, das mit 179,07 €/ha den höchsten Erwartungswert der Aussaatkosten aufweist. Durch die Windauflage verschiebt sich der Kostenvorteil beim kleinen Betrieb hin zu risikoaffineren Mechanisierungsalternativen. Beim großen Betrieb ergibt sich ein differenziertes Bild.

Für den kleinen Betrieb in Boltenhagen führt $M_{mraf} Q(0,30)$ mit 101,90 €/ha zum günstigsten Erwartungswert der Aussaatkosten. Es folgen $M_{mrav} Q(0,20)$ mit 105,56 €/ha, $M_{raf} Q(0,40)$ mit 107,69 €/ha und $M_{rav} Q(0,10)$ mit dem höchsten Erwartungswert der Aussaatkosten in Höhe von 111,24 €/ha. Für den großen Betrieb liegt die günstigste Mechanisierungsalternative ebenfalls bei $M_{mraf} Q(0,30)$, bei welcher der Erwartungswert der Aussaatkosten 89,00 €/ha beträgt. Darauf folgen $M_{mrav} Q(0,20)$ mit 89,04 €/ha, $M_{rav} Q(0,10)$ mit 91,38 €/ha und $M_{raf} Q(0,40)$ mit 108,96 €/ha. Mit Windauflage verschiebt sich beim kleinen Betrieb die günstigste Variante von $M_{mraf} Q(0,30)$ zugunsten der risikoaverseren $M_{mrav} Q(0,20)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten in Höhe von 179,05 €/ha. Für $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$ liegt der Erwartungswert der Aussaatkosten hier bei 180,15 €/ha. Den höchsten Erwartungswert der Aussaatkosten weist $M_{rav} Q(0,10)$ mit 248,79 €/ha auf. Beim großen Betrieb steigt mit Windauflage der Erwartungswert der Aussaatkosten mit zunehmender Risikoaversion, wobei das Streuungsmaß gleichzeitig abnimmt, sodass $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ mit 153,90 €/ha zu dem niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten führen, wobei das Streuungsmaß hier mit 296,61 €/ha hoch ist. Während die Windauflage beim kleinen Betrieb zu einer Verschiebung der Vorteilhaftigkeit in Richtung Risikoaversion führt, tritt beim großen Betrieb ein gegenteiliger Effekt auf, sodass hier eine Verschiebung zugunsten der risikoaffineren Mechanisierungsalternativen eintritt.

Tabelle 79: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Sommergerste (Direktsaat) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)

Standort, Mechanisierung	Maschinen (ex-ante), Erwartungswert und Streuungsmaß	ohne Windauflage				mit Windauflage			
		M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)	M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)
Gießen, klein	M()	5	5	5	7	5	5	6	8
	E(K) (€/ha)	56,71	56,71	56,71	55,60	64,99	64,99	58,06	60,34
	D10_90 (€/ha)	37,71	37,71	37,71	0,00	118,69	118,69	36,03	0,00
Gießen, groß	M()	3	3	3	4	3	3	4	5
	E(K) (€/ha)	49,47	49,47	49,47	47,17	56,32	56,32	49,54	52,25
	D10_90 (€/ha)	32,26	32,26	32,26	0,00	95,00	95,00	17,60	0,00
Teterow, klein	M()	8	8	9	12	13	15	20	23
	E(K) (€/ha)	77,67	77,67	77,90	83,25	147,89	148,34	161,87	172,08
	D10_90 (€/ha)	47,43	47,43	35,03	0,00	285,73	237,97	118,58	46,94
Teterow, groß	M()	5	5	5	7	7	8	11	19
	E(K) (€/ha)	67,21	67,21	67,21	69,52	134,63	130,57	136,48	179,07
	D10_90 (€/ha)	38,13	38,13	38,13	0,00	304,50	262,57	136,79	1,76
Boltenhagen, klein	M()	8	10	13	15	22	22	21	42
	E(K) (€/ha)	107,69	101,90	105,56	111,24	180,15	180,15	179,05	248,79
	D10_90 (€/ha)	186,93	84,62	15,92	0,00	281,39	281,39	295,70	0,00
Boltenhagen, groß	M()	4	6	7	8	12	12	15	24
	E(K) (€/ha)	108,06	89,00	89,04	91,38	153,90	153,90	159,55	198,21
	D10_90 (€/ha)	238,74	59,12	23,46	5,87	296,61	296,61	221,26	0,00

Q = Quantil, M() = Maschinenzahl (ex-ante), E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

4.10.3 Mais

Im Folgenden werden die Ergebnisse für den Erwartungswert der Aussaatkosten der verschiedenen Mechanisierungsalternativen zur Risikobewertung für das wendende und das nichtwendende Anbauverfahren für Mais dargestellt. Da es bei den Ergebnissen vom wendenden und nichtwendenden Anbauverfahren nur marginale Unterschiede gibt (siehe Tabelle 80 und Tabelle 81), wird sich hier auf die schriftliche Erläuterung des wendenden Anbauverfahrens beschränkt.

4.10.3.1 Mais wendend

Tabelle 80 zeigt die Ergebnisse des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für das wendende Anbauverfahren basierend auf der ex-ante festgelegten Maschinenzahl.

Für den kleinen Betrieb in Gießen steigt der Erwartungswert der Aussaatkosten mit zunehmender Risikoaversion, während das Streuungsmaß abnimmt. Infolgedessen liegt der Kostenvorteil für den Erwartungswert der Aussaatkosten bei $M_{raf} Q(0,40)$ bei 31,20 €/ha. $M_{mraf} Q(0,30)$ folgt knapp dahinter mit 31,25 €/ha, gefolgt von $M_{mraV} Q(0,20)$ und $M_{raV} Q(0,10)$ mit jeweils 31,44 €/ha. Beim großen Betrieb ergibt sich weder ohne noch mit Windauflage ein Kostenvorteil für eine Mechanisierungsalternative, da der Erwartungswert der Aussaatkosten mit 32,76 €/ha ohne Windauflage und 32,82 €/ha mit Windauflage bei allen Mechanisierungsalternativen den gleichen Wert annimmt. Auch das Streuungsmaß liegt hier unabhängig von der Windauflage immer bei 0,20 €/ha. Beim kleinen Betrieb gilt mit Windauflage ebenfalls, dass der Erwartungswert der Aussaatkosten mit abnehmender Risikoaffinität steigt oder gleichbleibt, während das Streuungsmaß sinkt oder gleichbleibt. Durch die Windauflage ergibt sich beim kleinen Betrieb neben $M_{raf} Q(0,40)$ mit $M_{mraf} Q(0,30)$ eine zusätzliche Mechanisierungsalternative mit absolutem Kostenvorteil. Der Erwartungswert der Aussaatkosten für beide Mechanisierungsalternativen liegt bei 31,34 €/ha, während die Werte für $M_{mraV} Q(0,20)$ und $M_{raV} Q(0,10)$ mit 31,50 €/ha nur leicht höher sind. Die Windauflage in Gießen führt also zu keinen Veränderungen beim großen Betrieb und zu einer Ausweitung des Kostenvorteils auf die Mechanisierungsalternativen mit dem nächstgrößeren Quantil, also in Richtung einer risikoaverseren Mechanisierungsalternative beim kleinen Betrieb.

Während in Teterow der Erwartungswert der Aussaatkosten für den kleinen Betrieb mit zunehmender Risikoaversion steigt oder konstant bleibt, zeigt sich beim großen Betrieb ein fallender oder gleichbleibender Verlauf des Erwartungswerts der Aussaatkosten mit zunehmender Risikoaversion. Für den kleinen Betrieb liegt der Kostenvorteil mit 31,07 €/ha bei $M_{\text{raf}} Q(0,40)$. Darauf folgen $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ und $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von jeweils 31,16 €/ha, während bei $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ mit 31,42 €/ha der höchste Erwartungswert der Aussaatkosten zu verzeichnen ist. Beim großen Betrieb liegt der Erwartungswert der Aussaatkosten mit 32,89 €/ha bei $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ am höchsten, während er bei allen anderen Mechanisierungsalternativen bei 32,73 €/ha liegt. Beim kleinen Betrieb kehrt sich durch die Windauflage das Verhältnis der Mechanisierungsalternativen um, wodurch der Erwartungswert der Aussaatkosten mit steigender Risikoaversion abnimmt. $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ und $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ führen mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von jeweils 49,46 €/ha zur günstigsten Aussaat. Darauf folgen die Mechanisierungsalternativen $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ mit 49,55 €/ha und $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ mit 51,42 €/ha. Für den großen Betrieb führt die Windauflage dazu, dass alle Mechanisierungsalternativen den gleichen Erwartungswert der Aussaatkosten und identische Streuungsmaße besitzen. Beim kleinen Betrieb verschiebt die Windauflage die Vorteilhaftigkeit des Erwartungswerts der Aussaatkosten von $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ zu $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ und $M_{\text{rav}} Q(0,10)$. Beim großen Betrieb hebt die Windauflage den Kostennachteil von $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ auf. Beim kleinen Betrieb erfolgt also eine eindeutige Verschiebung zugunsten der risikoaverseren Mechanisierungsalternativen. Hingegen wird beim großen Betrieb der Kostenvorteil auch auf $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ ausgedehnt.

In Boltenhagen sinkt beim kleinen Betrieb mit zunehmender Risikoaversion sowohl der Erwartungswert der Aussaatkosten als auch das Streuungsmaß. Die günstigste Mechanisierungsalternative ist $M_{\text{rav}} Q(0,10)$, bei welcher der Erwartungswert der Aussaatkosten 33,65 €/ha beträgt. Es folgen die Mechanisierungsalternativen $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ mit 33,68 €/ha, $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ mit 33,81 €/ha und $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ mit 37,46 €/ha. Beim großen Betrieb sinken ebenfalls mit steigender Risikoaversion der Erwartungswert der Aussaatkosten und das Streuungsmaß oder sie sind gleichbleibend. $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ und $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ weisen hier mit 35,16 €/ha im Vergleich zu $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ und $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ mit 37,72 €/ha einen Kostenvorteil auf. Durch die Windauflage verschiebt sich die günstigste Mechanisierungsalternative beim kleinen Betrieb von $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ zu $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 43,93 €/ha. Als nächstgünstigere Maschinenalternative folgt wiederum $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ mit 43,96 €/ha sowie

$M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ und $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ mit 45,36 €/ha und 50,37 €/ha. Beim großen Betrieb verschiebt sich der Kostenvorteil von $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ und $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ zu $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ und mit $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$, wobei der Erwartungswert der Aussaatkosten hier bei beiden 54,02 €/ha beträgt. Die Windaufgabe führt beim kleinen Betrieb zu einer äußerst differenzierten Änderung bezüglich des Kostenvorteils der Mechanisierungsalternativen, wobei sich im Ganzen eine Verschiebung zu Gunsten der risikoaffineren Mechanisierungsalternativen ergibt. Beim großen Betrieb führt die Windaufgabe ebenfalls zu einer Verschiebung in Richtung mehr Risikoaffinität.

Tabelle 80: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Mais (wendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)

Standort, Mechanisierung	Maschinen (ex-ante), Erwartungswert und Streuungsmaß	ohne Windauflage				mit Windauflage			
		M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)	M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)
Gießen, klein	M()	7	8	9	9	8	8	9	9
	E(K) (€/ha)	31,20	31,25	31,44	31,44	31,34	31,34	31,50	31,50
	D10_90 (€/ha)	2,07	1,08	0,09	0,09	1,08	1,08	0,09	0,09
Gießen, groß	M()	3	3	3	3	3	3	3	3
	E(K) (€/ha)	32,76	32,76	32,76	32,76	32,82	32,82	32,82	32,82
	D10_90 (€/ha)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Teterow, klein	M()	7	8	8	9	12	15	16	16
	E(K) (€/ha)	31,07	31,16	31,16	31,42	51,42	49,55	49,46	49,46
	D10_90 (€/ha)	2,07	1,08	1,08	0,09	3,39	1,98	1,51	1,51
Teterow, groß	M()	2	3	3	3	4	4	4	4
	E(K) (€/ha)	32,89	32,73	32,73	32,73	61,81	61,81	61,81	61,81
	D10_90 (€/ha)	2,14	0,20	0,20	0,20	3,46	3,46	3,46	3,46
Boltenhagen, klein	M()	8	10	11	12	16	13	15	17
	E(K) (€/ha)	37,46	33,81	33,68	33,65	43,93	50,37	45,36	43,96
	D10_90 (€/ha)	3,24	1,80	1,08	0,36	10,79	45,81	22,46	2,88
Boltenhagen, groß	M()	3	3	4	4	4	5	5	6
	E(K) (€/ha)	37,72	37,72	35,16	35,16	60,88	54,02	54,02	54,44
	D10_90 (€/ha)	2,60	2,60	0,47	0,47	59,21	24,62	24,62	2,60

Q = Quantil, M() = Maschinenzahl (ex-ante), E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

4.10.3.2 Mais nichtwendend

Tabelle 81 zeigt die Ergebnisse des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für das nichtwendende Anbauverfahren basierend auf der ex-ante festgelegten Maschinenzahl. Die Ergebnisse entsprechen mit marginalen, aber nicht grundsätzlichen Differenzen denen des wendenden Anbauverfahrens.

Tabelle 81: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Mais (nichtwendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)

Standort, Mechanisierung	Maschinen (ex-ante), Erwartungswert und Streuungsmaß	ohne Windauflage				mit Windauflage			
		M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)	M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)
Gießen, klein	M()	7	8	9	9	8	8	9	9
	E(K) (€/ha)	31,20	31,25	31,44	31,44	31,34	31,34	31,50	31,50
	D10_90 (€/ha)	2,07	1,08	0,09	0,09	1,08	1,08	0,09	0,09
Gießen, groß	M()	3	3	3	3	3	3	3	3
	E(K) (€/ha)	32,76	32,76	32,76	32,76	32,82	32,82	32,82	32,82
	D10_90 (€/ha)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Teterow, klein	M()	7	8	8	9	12	15	16	16
	E(K) (€/ha)	31,07	31,16	31,16	31,42	51,79	49,89	49,80	49,80
	D10_90 (€/ha)	2,07	1,08	1,08	0,09	3,39	1,98	1,51	1,51
Teterow, groß	M()	2	3	3	3	4	4	4	4
	E(K) (€/ha)	32,89	32,73	32,73	32,73	62,20	62,20	62,20	62,20
	D10_90 (€/ha)	2,14	0,20	0,20	0,20	3,46	3,46	3,46	3,46
Boltenhagen, klein	M()	8	10	11	12	16	13	15	17
	E(K) (€/ha)	37,53	33,81	33,68	33,65	44,05	50,54	45,50	44,07
	D10_90 (€/ha)	3,24	1,80	1,08	0,36	10,79	45,81	22,46	2,88
Boltenhagen, groß	M()	3	3	4	4	4	5	5	6
	E(K) (€/ha)	37,75	37,75	35,16	35,16	61,07	54,17	54,17	54,54
	D10_90 (€/ha)	2,60	2,60	0,47	0,47	59,21	24,62	24,62	2,60

Q = Quantil, M() = Maschinenzahl (ex-ante), E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

4.10.4 Zuckerrübe

Im Folgenden werden die Ergebnisse für den Erwartungswert der Aussaatkosten der verschiedenen Mechanisierungsalternativen zur Risikobewertung für das wendende und das nichtwendende Anbauverfahren für die Zuckerrübe dargestellt. Da es bei den Ergebnissen vom wendenden und nichtwendenden Anbauverfahren nur marginale Unterschiede gibt (siehe Tabelle 82 und Tabelle 83), wird sich hier auf die schriftliche Erläuterung des wendenden Anbauverfahrens beschränkt.

4.10.4.1 Zuckerrübe wendend

Tabelle 82 zeigt die Ergebnisse des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für das wendende Anbauverfahren basierend auf der ex-ante festgelegten Maschinenzahl.

Für den kleinen und großen Betrieb in Gießen kommt es mit zunehmender Risikoaversion bei den Mechanisierungsalternativen zu einem sinkenden oder gleichbleibenden Erwartungswert der Aussaatkosten. Beim kleinen Betrieb liegt der Kostenvorteil bei $M_{rav} Q(0,10)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 38,38 €/ha, gefolgt von $M_{mrv} Q(0,20)$ mit 38,73 €/ha, $M_{mrf} Q(0,30)$ mit 39,65 €/ha und $M_{raf} Q(0,40)$ mit 46,12 €/ha. Beim großen Betrieb liegt der Kostennachteil bei $M_{raf} Q(0,40)$ mit 42,85 €/ha, während der Erwartungswert der Aussaatkosten und die Spannbreite für die restlichen Mechanisierungsalternativen ($M_{rav} Q(0,10)$, $M_{mrv} Q(0,20)$, $M_{mrf} Q(0,30)$) jeweils bei 36,93 €/ha und 0,00 €/ha liegen. Die Windauflage führt zu keinen elementaren Veränderungen bei dem großen und kleinen Betrieb bezüglich der Vorteilhaftigkeit der Mechanisierungsalternativen. Auch unter Berücksichtigung der Windauflage sinken der Erwartungswert der Aussaatkosten und das Streuungsmaß mit zunehmender Risikoaversion. Der Kostenvorteil liegt beim kleinen Betrieb mit Windauflage mit 39,27 €/ha weiterhin bei $M_{rav} Q(0,10)$, gefolgt von $M_{mrv} Q(0,20)$ mit 39,71 €/ha, $M_{mrf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$ mit jeweils 40,78 €/ha. Beim großen Betrieb liegt der Kostenvorteil mit Windauflage nur noch bei der Mechanisierungsalternative $M_{rav} Q(0,10)$, bei der der Erwartungswert der Aussaatkosten 37,63 €/ha beträgt. Die restlichen Mechanisierungsalternativen haben mit 38,51 €/ha für den Erwartungswert der Aussaatkosten und 7,58 €/ha für das Streuungsmaß identische Werte. Die Windauflage führt also zu keinen fundamentalen Veränderungen, verschiebt den Kostenvorteil aber weiter in Richtung risikoaverser Mechanisierungsalternativen.

Paradoxerweise ist der Erwartungswert der Aussaatkosten für $Q(0,40)$ bei beiden Betriebstypen mit Windauflage niedriger als ohne Windauflage (siehe hierzu Kapitel 5.4.3).

Auch in Teterow sinken ohne Windauflage der Erwartungswert der Aussaatkosten und das Streuungsmaß mit zunehmender Risikoaversion. So liegt der Kostenvorteil beim kleinen Betrieb bei $M_{rav} Q(0,10)$ mit 42,37 €/ha, gefolgt von $M_{mrav} Q(0,20)$ mit 43,12 €/ha sowie $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$ mit jeweils 49,17 €/ha. Beim großen Betrieb liegt der Kostenvorteil mit 40,69 €/ha bei $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{rav} Q(0,10)$. $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$ führen zu einem Erwartungswert der Aussaatkosten in Höhe von 45,92 €/ha. Durch die Windauflage verschiebt sich der Kostenvorteil beim kleinen Betrieb von $M_{rav} Q(0,10)$ zu $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$, bei welchen der Erwartungswert der Aussaatkosten jeweils 93,18 €/ha beträgt. Mit Windauflage ist $M_{rav} Q(0,10)$ die teuerste Mechanisierungsalternative des kleinen Betriebs, mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von 110,24 €/ha. Für $M_{raf} Q(0,40)$ beträgt der Erwartungswert der Aussaatkosten hier 97,99 €/ha. Beim großen Betrieb verschiebt sich der Kostenvorteil von $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{rav} Q(0,10)$ zu $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten in Höhe von 89,39 €/ha und damit in Richtung risikoaffiner Mechanisierungsalternativen. Die Windauflage verschiebt den Kostenvorteil in Teterow insgesamt in Richtung risikoaffiner Mechanisierungsalternativen.

In Boltenhagen liegt ohne Windauflage die günstigste Mechanisierungsalternative für den kleinen Betrieb mit 50,72 €/ha bei $M_{mrav} Q(0,20)$, gefolgt von $M_{rav} Q(0,10)$ mit 51,14 €/ha. Zu einem höheren Erwartungswert der Aussaatkosten von 55,62 €/ha führen $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{raf} Q(0,40)$, wobei der Erwartungswert der Aussaatkosten bei $M_{raf} Q(0,40)$ mit 62,71 €/ha am höchsten ist. Beim großen Betrieb liegt der Kostenvorteil mit 49,40 €/ha bei $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$, gefolgt von $M_{rav} Q(0,10)$ mit 49,71 €/ha. Auch hier liegt der höchste Erwartungswert der Aussaatkosten mit 58,92 €/ha bei $M_{raf} Q(0,40)$. Durch die Windauflage kommt es zu einer elementaren Veränderung in Bezug auf die Vorzüglichkeit der Mechanisierungsalternativen. Mit Windauflage steigt der Erwartungswert der Aussaatkosten mit zunehmender Risikoaversion an oder bleibt gleich, sodass hier die günstigste Aussaat bei $M_{raf} Q(0,40)$ liegt. Für den kleinen Betrieb fallen hier 104,09 €/ha und für den großen Betrieb 97,89 €/ha an. Es folgen $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{mrav} Q(0,20)$ mit einem Erwartungswert der Aussaatkosten von jeweils 105,87 €/ha für den kleinen Betrieb und 98,76 €/ha für den großen Betrieb. Der höchste Erwartungswert der Aussaatkosten liegt $M_{rav} Q(0,10)$ mit 127,01 €/ha für den kleinen Betrieb

und 115,26 €/ha für den großen Betrieb. Die Windaufgabe verschiebt den Kostenvorteil in Boltenhagen zugunsten von $M_{raf} Q(0,40)$, also der risikoaffinen Mechanisierungsalternative.

Tabelle 82: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Zuckerrübe (wendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)

Standort, Mechanisierung	Maschinen (ex-ante), Erwartungswert und Streuungsmaß	ohne Windauflage				mit Windauflage			
		M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)	M_{raf} Q(0,40)	M_{mraf} Q(0,30)	M_{mrav} Q(0,20)	M_{rav} Q(0,10)
Gießen, klein	M()	9	11	12	13	12	12	13	14
	E(K) (€/ha)	46,12	39,65	38,73	38,38	40,78	40,78	39,71	39,27
	D10_90 (€/ha)	33,13	10,90	2,18	0,00	12,64	12,64	4,80	0,00
Gießen, groß	M()	3	4	4	4	4	4	4	5
	E(K) (€/ha)	42,85	36,93	36,93	36,93	38,51	38,51	38,51	37,63
	D10_90 (€/ha)	24,12	0,00	0,00	0,00	7,58	7,58	7,58	0,00
Teterow, klein	M()	12	12	15	16	21	25	25	38
	E(K) (€/ha)	49,17	49,17	43,12	42,37	97,99	93,18	93,18	110,24
	D10_90 (€/ha)	48,30	48,30	7,41	0,78	96,43	74,11	74,11	1,57
Teterow, groß	M()	4	4	5	5	7	8	8	12
	E(K) (€/ha)	45,92	45,92	40,69	40,69	93,45	89,39	89,39	104,14
	D10_90 (€/ha)	39,41	39,41	2,07	2,07	90,13	72,49	72,49	1,93
Boltenhagen, klein	M()	12	14	16	20	36	41	41	58
	E(K) (€/ha)	62,71	55,62	50,72	51,14	104,09	105,87	105,87	127,01
	D10_90 (€/ha)	84,92	63,47	42,02	0,44	81,78	63,47	63,47	1,22
Boltenhagen, groß	M()	4	5	5	7	11	13	13	18
	E(K) (€/ha)	58,92	49,40	49,40	49,71	97,89	98,76	98,76	115,26
	D10_90 (€/ha)	78,00	44,10	44,10	0,00	86,27	63,12	63,12	5,24

Q = Quantil, M() = Maschinenzahl (ex-ante), E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

4.10.4.2 Zuckerrübe nichtwendend

Tabelle 83 zeigt die Ergebnisse des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für das nichtwendende Anbauverfahren basierend auf der ex-ante festgelegten Maschinenzahl. Die Ergebnisse entsprechen mit marginalen, aber nicht grundsätzlichen Differenzen denen des wendenden Anbauverfahrens.

Tabelle 83: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen für Zuckerrübe (nichtwendend) bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Quelle: Eigene Berechnung)

Standort, Mechanisierung	Maschinen (ex-ante), Erwartungswert und Streuungsmaß	ohne Windauflage				mit Windauflage			
		M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)
Gießen, klein	M()	9	11	12	13	12	12	13	14
	E(K) (€/ha)	46,12	39,65	38,73	38,38	40,78	40,78	39,71	39,27
	D10_90 (€/ha)	33,13	10,90	2,18	0,00	12,64	12,64	4,80	0,00
Gießen, groß	M()	3	4	4	4	4	4	4	5
	E(K) (€/ha)	42,85	36,93	36,93	36,93	38,51	38,51	38,51	37,63
	D10_90 (€/ha)	24,12	0,00	0,00	0,00	7,58	7,58	7,58	0,00
Teterow, klein	M()	12	12	15	16	21	25	25	38
	E(K) (€/ha)	49,17	49,17	43,12	42,37	98,16	93,31	93,31	110,52
	D10_90 (€/ha)	48,30	48,30	7,41	0,78	96,43	74,11	74,11	4,57
Teterow, groß	M()	4	4	5	5	7	8	8	12
	E(K) (€/ha)	45,92	45,92	40,69	40,69	93,72	89,61	89,61	104,35
	D10_90 (€/ha)	39,41	39,41	2,07	2,07	90,13	72,49	72,49	1,93
Boltenhagen, klein	M()	12	14	16	20	36	41	41	58
	E(K) (€/ha)	62,75	55,65	50,73	51,14	104,14	105,92	105,92	127,02
	D10_90 (€/ha)	84,92	63,47	42,02	0,44	81,78	63,47	63,47	1,22
Boltenhagen, groß	M()	4	5	5	7	11	13	13	18
	E(K) (€/ha)	58,98	49,42	49,42	49,71	97,98	98,83	98,83	115,27
	D10_90 (€/ha)	78,00	44,10	44,10	0,00	86,27	63,12	63,12	5,24

Q = Quantil, M() = Maschinenzahl (ex-ante), E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

4.10.5 Exkurs zum kostenminimalen Maschineneinsatz zur Aussaat und zu dem Erwartungswert der Aussaatkosten

In diesem Kapitel werden exemplarisch die Ergebnisse des kostenminimalen Maschineneinsatzes für verschiedene Mechanisierungsalternativen und des Erwartungswerts der Aussaatkosten verglichen. Der Vergleich beschränkt sich auf den großen Betrieb in Boltenhagen für Zuckerrüben (wendend) mit Windauflage. Dabei werden sowohl die Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen als auch der Erwartungswert der Aussaatkosten für jeweils 1 bis 20 Sämaschinen für 1000 ha dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass der kostenminimale Maschineneinsatz keinen Erwartungswert der Aussaatkosten darstellt, sondern einem Quantil der Kosten in Bezug auf die Feldarbeitstage (FAT) entspricht (siehe Kapitel 3.12). Der Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$) für die jeweilige Maschinenanzahl wurde hingegen anhand der tatsächlich möglichen FAT ermittelt. Die auftretenden Aussaatkosten wurden dazu mittels 21 Quantilswerten von 0 % bis 100 % in 5 %-Schritten berechnet. Aufgrund der diskreten Approximation des Integrals wurden die beiden Randquantile (0 % und 100 %) nur mit halbem Gewicht in die Erwartungswertberechnung einbezogen (siehe Kapitel 3.14).

In Tabelle 84, die die Ergebnisse des kostenminimalen Maschineneinsatzes für verschiedene Mechanisierungsalternativen und des Erwartungswerts der Aussaatkosten für den großen Betrieb in Boltenhagen für Zuckerrüben (wendend) mit Windauflage zeigt, bedeutet dies zum Beispiel, dass der kostenminimale Maschineneinsatz für die mittlere risikoaverse Mechanisierung $M_{\text{mrav}} Q(0,20)_M(13)$ auf Basis des 20 %-Quantils der FAT berechnet wurde. Das bedeutet, dass die FAT berücksichtigt wurden, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 80 % zur Verfügung stehen (siehe auch Kapitel 3.4, Gleichungen 16, 17 und 18). Der kostenminimale Maschineneinsatz liegt hier bei 13 Maschinen und beträgt 78,50 €/ha. Der Erwartungswert der Aussaatkosten für die ex-ante festgelegte Maschinenanzahl von 13 Maschinen, berechnet über die 21 Quantilswerte vom 0 %-Quantil bis zum 100 %-Quantil, liegt hingegen bei 98,76 €/ha. Auch bei den restlichen Mechanisierungsalternativen liegt der kostenminimale Maschineneinsatz unter $E(K)$: $M_{\text{raf}} Q(0,40)_M(11)$ bei 71,53 €/ha gegenüber 97,89 €/ha, $M_{\text{mraf}} Q(0,30)_M(13)$ bei 78,50 €/ha gegenüber 98,76 €/ha und $M_{\text{rav}} Q(0,10)_M(18)$ bei 110,47 €/ha gegenüber 115,23 €/ha. Bei Betrachtung von $E(K)$ über die 21 Quantilswerte ergibt sich, dass das Kostenminimum mit 97,89 €/ha bei 11 Maschinen liegt, was der gleichen

Maschinenanzahl wie $M_{\text{raf}} Q(0,40)_M(11)$ entspricht. Diese ist mit Aussaatkosten von 71,53 €/ha die günstigste Mechanisierungsalternative.

In Tabelle 84 sind die Mechanisierungsalternativen, die höhere Kosten als $E(K)$ haben, farblich grau hinterlegt. Es zeigt sich, dass $E(K)$ bei einer ex-ante festgelegten geringen Maschinenanzahl tendenziell niedrigere Kosten aufweist als die Mechanisierungsalternativen und dass ein Kostenvorteil insbesondere bei den risikoaverseren Mechanisierungsalternativen besteht. Eine weiterführende Diskussion der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 5.4.6.

Tabelle 84: Aussaatkosten (€/ha) der Mechanisierungsalternativen nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha und Erwartungswert der Aussaatkosten für einen großen Betrieb für Zuckerrüben (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Sämaschinen (n) für 1000 ha	M _{raf} Q(0,40)_M(11)	M _{mraf} Q(0,30)_M(13)	M _{mraV} Q(0,20)_M(13)	M _{raV} Q(0,10)_M(18)	E(K)
1	804,50	835,84	874,70	917,12	704,77
2	558,02	620,70	698,42	783,25	435,44
3	311,54	405,56	522,14	649,39	291,14
4	169,84	209,53	345,86	515,52	205,32
5	143,22	154,24	188,70	381,66	153,74
6	125,69	138,92	155,46	250,55	130,94
7	109,54	124,97	144,27	191,95	118,01
8	93,39	111,03	133,08	172,76	108,75
9	79,58	97,08	121,89	166,54	101,77
10	75,55	86,58	110,70	160,31	98,13
11	71,53	83,66	99,51	154,08	97,89
12	73,16	80,74	88,31	147,85	98,11
13	78,50	78,50	78,50	141,62	98,76
14	83,85	83,85	83,85	135,39	102,06
15	89,20	89,20	89,20	129,16	105,36
16	94,54	94,54	94,54	122,93	108,66
17	99,89	99,89	99,89	116,70	111,96
18	105,23	105,23	105,23	110,47	115,26
19	110,58	110,58	110,58	110,58	118,87
20	115,93	115,93	115,93	115,93	123,40

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mraV} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{raV} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

Q = Quantil, M() = kostenminimale Maschinenanzahl, E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

 = Mechanisierungsalternative hat höhere Kosten wie E(K)

5 Diskussion und Schlussbetrachtung

In diesem Kapitel werden unter anderem die Hypothesen aus Kapitel 3.15 diskutiert und beurteilt. Es wird darauf eingegangen, ob die Ergebnisse belastbar und allgemeingültig sind oder ob sie von bestimmten Voraussetzungen abhängen oder durch die angewandten Methoden bedingt sind. Darüber hinaus enthält dieses Kapitel eine zusammenfassende Darstellung der Schlussfolgerungen aus den einzelnen Ergebnisteilen sowie eine Diskussion dieser Ergebnisse. Der Einfluss der ausgewählten Methoden und Annahmen sowie mögliche methodische Unsicherheiten auf die Ergebnisse wird kritisch hinterfragt. Wie im Ergebniskapitel ersichtlich wird, führen die verschiedenen Methoden und Ansätze zu teils konträren Ergebnissen hinsichtlich der Resilienz der Anbauverfahren, der Betriebstypen und der Aussaatkosten gegenüber der Windauflage. Daher sind hier eine zusammenfassende Schlussbetrachtung und Diskussion der Ergebnisse notwendig. Die Tabellen und Abbildungen im folgenden Kapitel enthalten keine zusätzlichen Ergebnisse, sondern bieten anders aufbereitete Darstellungen der Ergebnisse aus dem vorangegangenen Kapitel oder präsentieren einzelne Beispiele aus dem Anhang.

Kapitel 5.1 behandelt kurz die Hypothesen 1 und 2. In Kapitel 5.2 werden die Vorteilhaftigkeit und Resilienz der Anbauverfahren nach Anbaukulturen betrachtet und bewertet. Hierbei werden die Aussaatkosten bei kostenminimalem Maschineneinsatz, der Verfahrensumfang und die Ordnungsnummer der Aussaat bei den Restriktionen gegenübergestellt. In Kapitel 5.3 erfolgt die Schlussbetrachtung und der Vergleich der Auswirkungen der Windauflage auf die Anbaukulturen und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen. Hierbei werden die arbeitswirtschaftlichen Ergebnisse zur Reduktion des Verfahrensumfangs durch die Windauflage sowohl mit als auch ohne Ernte- und Lohnarbeiten mit den Kostensteigerungen der Aussaatkosten durch die Windauflage verglichen. Außerdem wird hier auf die Hypothesen 3 und 4 eingegangen. In Kapitel 5.4 werden die Ergebnisse der Risikoanalyse sowie die Hypothesen 2, 5, 6, 7 und 8 diskutiert. Abschließend wird auch kurz auf die Ergebnisse des Exkurses eingegangen. In Kapitel 5.5 werden die naheliegendsten methodischen Unsicherheiten kritisch diskutiert.

5.1 Diskussion des Einflusses der Windauflage auf die Feldarbeitstage und die Aussaatkosten (Hypothese 1 und 2)

Die Ergebnisse zu den Windgeschwindigkeiten und den Feldarbeitstagen (FAT) sowie den FAT zu den Aussaatzeitspannen ergeben ein durchweg einheitliches Bild. Auch ein Vergleich mit den Werten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (2008, S. 258-259) zeigt, dass die berechneten FAT-Werte stimmig sind. Wie Tabelle 38 bis Tabelle 41 zeigen, sinken, mit Ausnahme des Winterweizens in Geisenheim, durch die Windauflage die verfügbaren FAT zur Aussaat. Ebenfalls zeigt sich, dass je höher die durchschnittliche Windgeschwindigkeit liegt, desto geringer die verfügbaren FAT ausfallen. ***Somit ist der Hypothese 1, dass durch die Windauflage die Anzahl der verfügbaren FAT zur Aussaat, insbesondere in windreichen Stationen sinkt, zuzustimmen.***

Die Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz für die Aussaat zeigen, dass die Gesamtkosten der Aussaat mit Windauflage immer gleich oder höher sind als die Gesamtkosten der Aussaat ohne Windauflage. Während die Aussaatkosten in Teterow und Boltenhagen durch die Windauflage immer steigen, bleiben die Aussaatkosten ohne und mit Windauflage in Gießen für den kleinen und großen Betrieb für Winterweizen (wendend), den großen Betrieb für Sommergerste (wendend), den kleinen und großen Betrieb für Mais (wendend und nichtwendend) sowie für den großen Betrieb für Zuckerrübe (wendend und nichtwendend) unverändert. ***Folglich kann der Hypothese 2, dass die Windauflage zu höheren Aussaatkosten insbesondere in windreichen Stationen Regionen führt, bei der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes nur für Teterow und Boltenhagen uneingeschränkt zugestimmt werden. Bei der Risikoanalyse kann der Hypothese 2 allerdings nicht uneingeschränkt zugestimmt werden (siehe Kapitel 5.4.3).***

Abgesehen von wenigen Ausnahmen zeigt sich, dass die Kosten durch Ertragsverluste gegenüber den Kosten durch zusätzliche Aussaatmaschinen marginal ausfallen. Weiter kann festgestellt werden, dass bei kleinen Betrieben tendenziell höhere Aussaatkosten anfallen als bei großen Betrieben und dass große Betriebe immer höhere Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen erwirtschaften. Auch beim Verfahrensumfang erreicht der große Betrieb immer höhere Werte als der kleine Betrieb. Da die Ergebnisse bezüglich des kostenminimalen Maschineneinsatzes zur Aussaat, der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen und der arbeitswirtschaftlichen Analyse zu teils verschiedenen Schlussfolgerungen führen

können, erfolgt an nachfolgender Stelle eine zusammenfassende Schlussbetrachtung und Gegenüberstellung der Teilergebnisse mit Implikationen hinsichtlich der Resilienz der Anbauverfahren gegenüber der Windauflage.

5.2 Vorteilhaftigkeit und Resilienz der Anbauverfahren nach Anbaukulturen

Aufgrund der getroffenen Modellannahmen wie der Verfügbarkeit von Schleppern und Arbeitskräften zur Aussaat und den geringen Maschinenkosten ist die günstigste Anpassung an die Windauflage die Erhöhung der Maschinenanzahl. Die Berechnung der optimalen durchschnittlichen Maschinenzahl pro 1000 ha erscheint zwar für kleinere Betriebe wenig relevant, aber dieser Ansatz verringert den verzerrenden Effekt von Ganzzahligkeitsbedingungen und stellt den tendenziellen Einfluss der Windauflage greifbar dar. Auch ist die Berechnung der optimalen durchschnittlichen Maschinenzahl von tatsächlichen Betriebsgrößen, also in der Regel von weit unter 1000 ha, äußerst ungünstig, da oftmals schon eine oder wenige Maschinen zur Aussaat ausreichen, sodass Kosteneffekte durch eine steigende Maschinenanzahl schwer abbildbar sind.

Insgesamt sind die Maschinenkosten in dieser Arbeit wesentlich geringer bewertet als die Kosten durch Ertragsverluste, sodass die Windauflage fast immer zur kostengünstigeren Erhöhung der Maschinenanzahl, anstatt der Realisierung von Ertragsverlusten führt. Auch die Aussaat in der methodisch definierten ungünstigen Aussaatzeitspanne, welche zeitlich unbegrenzten Kapazitäten an FAT aufweist und zu Ertragsverlusten auf das Niveau der Deckung der variablen Kosten führt, verstärkt den Vorteil der Erhöhung der Maschinenanzahl gegenüber der Realisierung von Ertragsverlusten. Eine Erweiterung der Aussaatzeiträume, in denen die Aussaat zu einem negativen Deckungsbeitrag führt, würde die in dieser Arbeit berechneten Effekte noch verstärken, da die Aussaat in der ungünstigen Saatzeitspanne zu noch höheren Kosten für aussaatbedingte Ertragsverluste führen würde. Auch die methodische Annahme der unbegrenzten Verfügbarkeit von Arbeitskräften und Schleppern ist eine stark vereinfachte Annahme, die in der Realität nicht immer gegeben sein muss. Der bestimmende Einflussfaktor für die Differenz der Aussaatkosten kleiner und großer Betriebe sind die günstig angesetzten Lohnkosten von 21 €/h nach KTBL (2020b). Die Verwendung höherer Lohnkosten würde sich aufgrund des absoluten Vorteils beim Arbeitszeitbedarf zugunsten der großen Betriebe auswirken.

In der anschließenden Betrachtung wird die Einbeziehung des Abstandes zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang verzichtet, da die Ordnung der Restriktionen bei der abschließenden Bewertung der geeigneteren Maßstab zur Beurteilung der Resilienz der Anbauverfahren gegenüber der Windauflage darstellt. Denn solange ein zu geringer Mechanisierungsgrad eines anderen Arbeitsganges als der Aussaat das Anbauverfahren limitiert, müsste primär der Mechanisierungsgrad dieses Arbeitsganges erhöht werden, bevor der Mechanisierungsgrad der Aussaat erhöht würde.

Da im Folgenden mit Größer- und Kleinerzeichen gearbeitet wird, folgt zunächst eine Erklärung dazu: Für die Ordnung der Restriktionen, den Verfahrensumfang und die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen gilt, dass ">" von Vorteil und "<" von Nachteil ist, während für den kostenminimalen Maschineneinsatz und die Kostensteigerungen das Gegenteil gilt.

5.2.1 Winterweizen

Beim kostenminimalen Maschineneinsatz ist das wendende Anbauverfahren am günstigsten und auch die Kostensteigerungen durch die Windauflage fallen hier am geringsten aus. Beim Vergleich des nichtwendenden mit dem direkten Anbauverfahren (Direktsaat) ergeben sich Unterschiede zwischen den Stationen und den Betriebstypen. Die Kostensteigerung durch die Aussaat ist beim direkten Anbauverfahren am größten und die Kostensteigerung des großen Betriebs übertreffen bei allen Anbauverfahren immer die des kleinen Betriebs. Bezüglich des Vorteils bei den Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen gilt für beide Betriebstypen unabhängig von der Windauflage direkt > nichtwendend > wendend. Für den Verfahrensumfang ohne Windauflage gilt für Gießen direkt > nichtwendend > wendend, für Teterow und Boltenhagen gilt hingegen direkt = wendend = nichtwendend. Bei den Verfahrensumfängen der Anbauverfahren mit Windauflage ergeben sich Unterschiede zwischen den Stationen. In Gießen gilt beim Verfahrensumfang direkt > nichtwendend > wendend, in Teterow gilt wendend > direkt > nichtwendend und in Boltenhagen gilt wendend = direkt > nichtwendend. Bezüglich der Resilienz gegenüber der Windauflage in Bezug auf die Restriktionsordnung gilt für alle Stationen wendend > direkt > nichtwendend, was weniger den Anbauverfahren als dem Arbeitsgang der Aussaat geschuldet ist, bei welchem bezüglich des Arbeitszeitbedarfs ebenfalls immer wendend < direkt < nichtwendend gilt.

Zu einer Limitierung der Aussaat kommt es beim nichtwendenden Anbauverfahren für den großen Betrieb in Gießen sowohl ohne als auch mit Windauflage, in Teterow und in Boltenhagen sowie für den kleinen Betrieb in Teterow, jeweils mit Windauflage. Darüber hinaus erfolgt eine Limitation durch die Windauflage beim direkten Anbauverfahren für den großen Betrieb in Teterow. Das direkte Anbauverfahren erwirtschaftet immer die höchsten Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen und ermöglicht in den meisten Fällen die höchsten Verfahrensumfänge. Das wendende Anbauverfahren ist am robustesten gegenüber der Windauflage und das nichtwendende Anbauverfahren schneidet insgesamt am schlechtesten ab. In den meisten Fällen gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen großen und kleinen Betrieben hinsichtlich der Resilienz gegenüber der Windauflage. Nur in wenigen Fällen zeigt sich eine höhere Resilienz der kleinen Betriebe.

5.2.2 Sommergerste

Während für den kostenminimalen Maschineneinsatz der Anbauverfahren ohne Windauflage für den kleinen Betrieb immer die Reihenfolge wendend < nichtwendend < direkt (Direktsaat) gilt, gilt für den großen Betrieb immer die Reihenfolge wendend < direkt < nichtwendend. Die Reihenfolge bleibt für den kleinen Betrieb mit Windauflage unverändert. Für den großen Betrieb hingegen ändert sich die Reihenfolge, mit Ausnahme von Boltenhagen, zu wendend < nichtwendend < direkt. Beim wendenden Anbauverfahren gilt für die Aussaatkosten ohne Windauflage großer Betrieb < kleiner Betrieb; eine Ausnahme bildet dabei Boltenhagen, wo das Verhältnis konträr ist. Mit Windauflage verändern sich die Verhältnisse, so dass für die Aussaatkosten kleiner Betrieb < großer Betrieb gilt. Eine Ausnahme bildet dabei Gießen, wo das Verhältnis andersherum ist. Die Windauflage begünstigt also tendenziell beim wendenden Anbauverfahren die Aussaat in dem kleinen Betrieb. Beim nichtwendenden Anbauverfahren gilt bezüglich der Aussaatkosten, mit Ausnahme von Gießen, kleiner Betrieb < großer Betrieb. Mit Windauflage liegt der Kostenvorteil immer beim kleinen Betrieb. Auch beim nichtwendenden Anbauverfahren schneiden die kleinen Betriebe bei Windauflage besser ab als die großen Betriebe. Beim direkten Anbauverfahren sind die Aussaatkosten mit Windauflage für den großen Betrieb immer günstiger. Bei der Steigerung der Aussaatkosten durch die Windauflage ergibt sich für die Anbauverfahren tendenziell direkt > nichtwendend > wendend. Bei den Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen gilt für beide Betriebstypen ohne und mit

Windauflage direkt > nichtwendend > wendend. Bei den Verfahrensumfängen gilt ohne und mit Windauflage direkt > wendend > nichtwendend. Die einzige Ausnahme bildet dabei der große Betrieb in Teterow, für welchen unabhängig von der Windauflage wendend > direkt > nichtwendend gilt. Die Aussaat limitiert mit Windauflage den Verfahrensumfang aller Anbauverfahren in Teterow und Boltenhagen sowie des direkten und nichtwendenden Anbauverfahrens in Gießen. Bezüglich der Resilienz gegenüber der Windauflage in Bezug auf die Restriktionsordnung kann deswegen grob wendend > direkt > nichtwendend festgehalten werden. Insgesamt zeigen sich bei der Sommergerste ähnliche Verhältnisse wie beim Winterweizen: Das direkte Anbauverfahren erwirtschaftet auch bei der Sommergerste die höchsten Leistungen und ermöglicht in den meisten Fällen die höchsten Verfahrensumfänge. Das wendende Anbauverfahren ist am robustesten gegenüber der Windauflage und das nichtwendende Anbauverfahren schneidet insgesamt am schlechtesten ab.

5.2.3 Mais

Beim Mais gibt es hinsichtlich des kostenminimalen Maschineneinsatzes keine Unterschiede zwischen den Anbauverfahren. Die Aussaatkosten des großen Betriebs sind ohne und mit Windauflage geringer als die des kleinen Betriebs. Durch die Windauflage steigen die Aussaatkosten beim großen Betriebstyp stärker als beim kleinen Betriebstyp. Bei den Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen gilt ohne und mit Windauflage für den großen Betrieb wendend > nichtwendend und für den kleinen Betrieb nichtwendend > wendend. Dies liegt daran, dass beim kleinen Betrieb die fixen Maschinenkosten beim wendenden Anbauverfahren höher sind als beim nichtwendenden Anbauverfahren, während für den großen Betrieb das Gegenteil gilt.

Beim Maisanbau (Silomais) sind die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen für die Konfigurationen des kleinen Betriebs ohnehin schon sehr niedrig, wie aus KTBL-Web-Anwendung "Leistungskostenrechnung Pflanzenbau" hervorgeht (KTBL, 2020b). In dieser Arbeit werden jedoch nicht die Preise dieser Anwendung, sondern die durchschnittlichen Preise der letzten fünf Ausgaben der KTBL-Datensammlung "Betriebsplanung Landwirtschaft" für die Erträge der ausgewählten Kulturen verwendet (siehe Tabelle 35). Diese Preise sind niedriger, weshalb die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen für den kleinen Betriebstyp negativ ausfallen.

Für die Verfahrensumfänge ohne und mit Windauflage gilt für den kleinen Betrieb wendend > nichtwendend und den großen Betrieb wendend = nichtwendend. Durch die Windauflage kommt es zu keiner Limitation des Verfahrensumfanges. Bei der Ordnung der Restriktionen ergibt sich für die Aussaat tendenziell wendend > nichtwendend und großer Betrieb > kleiner Betrieb. Gut gegen die Windauflage sind die großen wendenden Betriebe aufgestellt, die neben höheren Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen auch höhere Verfahrensumfänge erreichen.

5.2.4 Zuckerrübe

Bei dem Zuckerrübenanbau gibt es hinsichtlich des kostenminimalen Maschineneinsatzes keine Unterschiede zwischen den beiden Anbauverfahren. Die Aussaatkosten des großen Betriebs sind ohne und mit Windauflage geringer als die des kleinen Betriebs. Da keine Ertragsverluste entstehen, entsprechen die Aussaatkosten immer den Kosten der Sämaschinen zuzüglich Schlepper- und Lohnkosten. Durch die Windauflage steigen die Aussaatkosten beim kleinen Betriebstyp stärker als beim großen Betriebstyp. Bei den Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen ergibt sich für beide Betriebstypen ohne und mit Windauflage nichtwendend > wendend. Für die Verfahrensumfänge ohne und mit Windauflage gilt für Teterow und Boltenhagen wendend > nichtwendend. In Gießen gilt für den kleinen Betrieb wendend = nichtwendend und für den großen Betrieb nichtwendend > wendend. Bei der Ordnung der Restriktionen ergibt sich für die Ordnungsnummern der Aussaat tendenziell nichtwendend > wendend. Das Verhältnis diesbezüglich ist zwischen den Betriebstypen recht ausgeglichen. In Boltenhagen führt die Windauflage beim wendenden Anbauverfahren für den kleinen Betriebstyp zur Limitation des Verfahrensumfanges durch die Aussaat. Insgesamt zeigt sich, mit Ausnahme des großen Betriebs in Gießen, dass das wendende Anbauverfahren einen höheren Verfahrensumfang erreicht als das nichtwendende Anbauverfahren. Bei der Resilienz gegenüber der Windauflage liegt der Vorteil aber beim nichtwendenden Anbauverfahren. Die beiden Betriebstypen verhalten sich bezüglich der Resilienz gegenüber der Windauflage ähnlich.

5.3 Zusammenfassende Betrachtung und Schlussfolgerungen zu den Anbaukulturen

Die isolierte Bewertung der Aussaatkosten bei kostenminimalem Maschineneinsatz für 1000 ha sowie die isolierte Bewertung der Verfahrensumfänge lässt keine zufriedenstellende abschließende Bewertung und Schlussfolgerung zu. Deswegen werden in diesem Kapitel die Ergebnisse zur Kostensteigerung der Aussaatkosten bei kostenminimalem Maschineneinsatz durch die Windauflage mit den arbeitswirtschaftlichen Ergebnissen zur Reduktion des Verfahrensumfangs durch die Windauflage kombiniert und verglichen.

Erst die Kombination der Ergebnisse ermöglicht eine Bewertung, ob eine Kostensteigerung der Aussaat innerhalb des Anbauverfahrens überhaupt zum Tragen kommt oder ob ein anderer Arbeitsgang den Verfahrensumfang ohnehin schon limitiert. Durch die kombinierte Betrachtung des für sich stehenden Arbeitsganges der Aussaat und des Arbeitsganges der Aussaat im Anbauverfahren werden folgend Schlussfolgerungen zum Einfluss der Windauflage aufgestellt. Die kombinierte Bewertung der Anbaukulturen wird dabei jeweils inklusive und exklusive der Ernte- und Lohnarbeiten durchgeführt.

Auf die Bewertung der Unterschiede der Betriebstypen wird an dieser Stelle verzichtet, da diese bereits in den vorangehenden Kapiteln ausführlich bewertet wurden. Die im folgenden genannten Aussaatkosten sind immer die Aussaatkosten beim kostenminimalen Maschineneinsatz für 1000 ha. Bevor die Bewertung der Anbaukulturen inklusive Ernte- und Lohnarbeiten durchgeführt wird, erfolgt eine zusammenfassende Bewertung der Kostensteigerung der Aussaat durch die Windauflage hinsichtlich der Anbaukulturen.

5.3.1 Bewertung der Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen und Hypothese 3

Insgesamt zeigt sich bei den vorangegangenen Ergebnissen, dass die Vorzüglichkeit des Anbauverfahrens hinsichtlich der Aussaatkosten und des Betriebstyps stark von den Standortverhältnissen der Stationen abhängt, sodass teilweise äußerst komplexe Ergebnisse zutage treten. Wie die vorangegangenen Ergebnisse ebenfalls zeigen, ergeben sich die Unterschiede zu den Aussaatkosten bei kostenminimalem Maschineneinsatz durch die Windauflage vor allem durch die höheren Kosten für die gestiegene Anzahl an Sämaschinen, da sich aufgrund der Methodik zur Berechnung der Schlepper- und Lohnkosten pro Stunde durch die Windauflage

keine grundsätzlichen Veränderungen ergeben. Für alle Anbaukulturen zeigt sich, dass die Kosten der Sämaschinen in der Regel wesentlich ausschlaggebender sind als die Kosten durch Ertragsverluste, da ein höherer Maschineneinsatz wesentlich kostengünstiger ist als die Realisation von Ertragsverlusten. Dies zeigt sich auch dadurch, dass der durchschnittliche Ertrag in den meisten Fällen dem optimalen Ertrag entspricht oder nur marginal davon abweicht. Der Kostenvorteil zwischen kleinem und großem Betriebstyp wird neben den Maschinenkosten, welche beim großen Betrieb mit höherer Mechanisierung höher ausfallen, vor allem durch die angesetzten Lohnkosten bestimmt, welche beim großen Betrieb durch den geringeren Arbeitszeitbedarf pro ha günstiger sind.

Wie Tabelle 53 bis Tabelle 71 zeigen, ist mit einigen Ausnahmen in Gießen die Anzahl der Sämaschinen beim kostenminimalen Maschineneinsatz zur Aussaat mit Windauflage höher als ohne Windauflage. In Gießen sind die Auswirkungen der Windauflage in diesen Fällen so gering, dass die Aussaatkosten und somit die Anzahl der Sämaschinen überhaupt nicht ansteigen (siehe zum Beispiel Tabelle 54), beziehungsweise ist es günstiger, einen geringen Ertragsverlust zu realisieren, anstatt eine zusätzliche Maschine einzusetzen (siehe zum Beispiel Tabelle 56). ***Der Hypothese 3, dass mit Windauflage die Anzahl der Sämaschinen beim kostenminimalen Maschineneinsatz zur Aussaat höher ist als ohne Windauflage, kann also grundsätzlich, mit Ausnahme von Gießen, zugestimmt werden.***

Tabelle 85 und Tabelle 86 zeigen eine Zusammenfassung der Kostensteigerung für die Aussaat durch die Windauflage, geordnet nach abnehmender Kostensteigerung. Hier wird nochmals deutlich, dass mit steigender durchschnittlicher Windgeschwindigkeit (Boltenhagen > Teterow > Gießen) die Kostensteigerung der Aussaat zunimmt (Boltenhagen > Teterow > Gießen). Für die Kostensteigerungen der Anbaukulturen zeigt sich, dass unabhängig von Station und Anbauverfahren die Reihenfolge Sommergerste > Zuckerrübe > Winterweizen > Mais gegeben ist. Die Mittelwerte (der Anbaukulturen) dieser Reihenfolge entsprechen 26,66 €/ha > 20,16 €/ha > 12,49 €/ha > 3,53 €/ha. Die Kostensteigerungen fallen also mit 26,66 €/ha bei der Sommergerste am deutlichsten aus. Bei der Zuckerrübe beträgt die durchschnittliche Kostensteigerung der Aussaat durch die Windauflage 20,16 €/ha, gefolgt vom Winterweizen mit 12,49 €/ha. Der Mais ist mit einer durchschnittlichen Kostensteigerung von 3,53 €/ha am wenigsten von der Windauflage betroffen.

Diese Ergebnisse passen gut mit den Aussaatzeitspannen und den dazugehörigen Feldarbeitstagen (FAT) mit Windauflage zusammen. Die Aussaatzeitspanne der Sommersgerste ist mit 44 Tagen relativ lang, jedoch sind die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten in allen Stationen in der Zeit von März bis April vergleichsweise hoch. Dasselbe gilt für die Zuckerrübe, die ebenfalls von März bis April ausgesät wird und deren Aussaatzeitspanne 46 Tage beträgt. Die Aussaatzeitspanne beim Winterweizen liegt zwar in den windreichen Monaten September bis Oktober, ist aber mit 52 Tagen die längste Aussaatzeitspanne aller betrachteten Anbaukulturen. Der Mais wird von April bis Mai in einem Zeitraum von 44 Tagen ausgesät. In den Monaten April und Mai nimmt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit deutlich ab, bevor sie in den Sommermonaten ihren tiefsten Punkt erreicht.

Tabelle 85: Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Kostensteigerung der Aussaat, Teil 1 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Anbauverfahren, Betriebstyp	Standort	Kostensteigerung Aussaat (€/ha)
Sommergserste, Direktsaat, klein	Boltenhagen	77,42
Sommergserste, Direktsaat, klein	Teterow	59,68
Sommergserste, nichtwendend, groß	Boltenhagen	55,02
Sommergserste, Direktsaat, groß	Boltenhagen	54,26
Sommergserste, Direktsaat, groß	Teterow	49,00
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	Boltenhagen	46,88
Zuckerrübe, wendend, klein	Boltenhagen	46,88
Sommergserste, nichtwendend, groß	Teterow	43,79
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	Boltenhagen	41,39
Zuckerrübe, wendend, groß	Boltenhagen	41,39
Winterweizen, Direktsaat, groß	Boltenhagen	33,31
Sommergserste, wendend, groß	Boltenhagen	30,28
Winterweizen, Direktsaat, klein	Boltenhagen	29,94
Winterweizen, Direktsaat, groß	Teterow	27,62
Sommergserste, wendend, groß	Teterow	24,42
Sommergserste, nichtwendend, klein	Boltenhagen	24,11
Winterweizen, nichtwendend, groß	Boltenhagen	22,48
Winterweizen, Direktsaat, klein	Teterow	21,86
Sommergserste, nichtwendend, klein	Teterow	18,54
Winterweizen, nichtwendend, groß	Teterow	17,55
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	Teterow	17,35
Zuckerrübe, wendend, klein	Teterow	17,35
Winterweizen, wendend, groß	Boltenhagen	16,71
Sommergserste, wendend, klein	Boltenhagen	15,76
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	Teterow	14,66
Zuckerrübe, wendend, groß	Teterow	14,66
Winterweizen, nichtwendend, klein	Boltenhagen	14,07
Sommergserste, wendend, klein	Teterow	12,13
Winterweizen, wendend, groß	Teterow	11,74
Winterweizen, wendend, klein	Boltenhagen	10,70

Tabelle 86: Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Kostensteigerung der Aussaat, Teil 2 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Anbauverfahren, Betriebstyp	Standort	Kostensteigerung Aussaat (€/ha)
Winterweizen, nichtwendend, klein	Teterow	9,32
Mais, nichtwendend, groß	Boltenhagen	8,47
Mais, wendend, groß	Boltenhagen	8,47
Sommergserste, Direktsaat, groß	Giessen	7,39
Winterweizen, wendend, klein	Teterow	6,27
Mais, nichtwendend, klein	Boltenhagen	5,13
Mais, wendend, klein	Boltenhagen	5,13
Sommergserste, nichtwendend, groß	Giessen	4,23
Mais, nichtwendend, groß	Teterow	3,97
Mais, wendend, groß	Teterow	3,97
Mais, nichtwendend, klein	Teterow	3,60
Mais, wendend, klein	Teterow	3,60
Sommergserste, nichtwendend, klein	Giessen	1,85
Sommergserste, Direktsaat, klein	Giessen	1,24
Winterweizen, Direktsaat, groß	Giessen	1,19
Winterweizen, nichtwendend, groß	Giessen	0,81
Sommergserste, wendend, klein	Giessen	0,78
Winterweizen, Direktsaat, klein	Giessen	0,74
Winterweizen, nichtwendend, klein	Giessen	0,52
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	Giessen	0,48
Zuckerrübe, wendend, klein	Giessen	0,48
Winterweizen, wendend, klein	Giessen	0,00
Winterweizen, wendend, groß	Giessen	0,00
Sommergserste, wendend, groß	Giessen	0,00
Mais, nichtwendend, klein	Giessen	0,00
Mais, nichtwendend, groß	Giessen	0,00
Mais, wendend, klein	Giessen	0,00
Mais, wendend, groß	Giessen	0,00
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	Giessen	0,00
Zuckerrübe, wendend, groß	Giessen	0,00

5.3.2 Hypothese 4

Insgesamt ergaben sich durch die Kombination von 4 Anbaukulturen, 3 Stationen, 3 beziehungsweise 2 Anbauverfahren und 2 Betriebstypen insgesamt 60 Varianten sowohl mit als auch ohne Windauflage. In 30 Varianten bestätigt sich Hypothese 4, nach der die Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste durch Windauflage höher sind. In 28 Varianten treten keine Änderungen bezüglich der Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste durch die Windauf-
lage auf, insbesondere beim Standort Gießen und bei der Zuckerrübe. In zwei Varianten - kleiner Betrieb in Gießen für Sommergerste (Direktsaat) und kleiner Betrieb in Teterow für Winterweizen (wendend) - führt die Windauflage im Gegensatz zur Hypothese 4 zu niedrigeren

Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Windauf-
lage zu Ertragssteigerungen im Vergleich zur Situation ohne Windauf-
lage führt. Dies liegt daran, dass die durch die Windauf-
lage erforderliche höhere Anzahl von Maschinen nicht nur
ausreicht, um die Aussaat in der bisherigen Zeit sicherzustellen, sondern sogar zu einer Redu-
zierung der benötigten Zeit führt. Dadurch ist es nicht mehr notwendig, in Aussaatzeitspannen
mit schlechteren Erträgen auszuweichen.

Diese augenscheinliche Paradoxie wird im Folgenden am Beispiel des kleinen Betriebs mit
Sommergerste (Direktsaat) in Gießen diskutiert (siehe auch Tabelle 64 und Tabelle 65). Abbil-
dung 14 zeigt den detaillierten Verlauf aller Bestandteile der Aussaatkosten für 1000 ha auf
der primären Achse und den Verlauf des durchschnittlichen Ertrags für 1000 ha auf der sekun-
dären Achse für den kleinen Betrieb mit Sommergerste (Direktsaat) in Gießen. Ohne Windauf-
lage beträgt der kostenminimale Maschineneinsatz zur Aussaat 5 Maschinen, was zu Gesamt-
kosten von 71,72 €/ha führt. Die Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste betragen bei
einem durchschnittlichen Ertrag von 59,77 dt/ha 4,19 €/ha. Mit Windauf-
lage beträgt der kostenminimale Maschineneinsatz 6 Maschinen, wobei die Gesamtkosten für die Aussaat hier mit
72,96 €/ha leicht höher liegen. Der durchschnittliche Ertrag liegt mit 60 dt/ha im Optimum,
sodass keine aussaatbedingten Ertragsverluste vorliegen. Im Vergleich zur Situation ohne
Windauf-
lage führt der Einsatz einer zusätzlichen Maschine in der Situation mit Windauf-
lage zu einer leichten Ertragssteigerung von 0,23 dt/ha.

Abbildung 14 zeigt, dass die durchschnittlichen Erträge mit zunehmender Maschinenanzahl
rasch ansteigen, bis sie mit jeweils 6 Maschinen ohne und mit Windauf-
lage ihr Optimum von 60 dt/ha erreichen. Zuvor liegen die durchschnittlichen Erträge erwartungsgemäß mit Wind-
auf-
lage unter denen ohne Windauf-
lage. Für die Situation ohne Windauf-
lage ist es kosteneffi-
zienter, einen geringen Ertragsverlust zu realisieren, anstatt eine zusätzliche Maschine einzu-
setzen. Im Gegensatz dazu führt der kosteneffiziente Einsatz einer zusätzlichen Maschine bei
der Situation mit Windauf-
lage zu einer Ertragssteigerung im Vergleich zur Situation ohne
Windauf-
lage.

***Unter Berücksichtigung der Ausnahmen, bei denen die Kosten durch aussaatbedingte Er-
tragsverluste mit Windauf-
lage gleichbleiben, und des kleinen Betriebs in Gießen für Som-
mergerste (Direktsaat) sowie des kleinen Betriebs in Teterow für Winterweizen (wendend),
bei welchen sie sinken, kann der Hypothese 4 zugestimmt werden, dass die Kosten aufgrund***

von aussaatbedingten Ertragsverlusten mit Windauflage höher sind als ohne. Dies gilt insbesondere für die Varianten, bei denen die Windauflage zu signifikanten Veränderungen führt.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Hypothese 4 zwar am häufigsten, aber nicht in allen Fällen bestätigt werden kann und daher nicht grundsätzlich gilt. In zwei Varianten ergibt sich sogar das Gegenteil. Hierbei handelt es sich wahrscheinlich um ein Artefakt, das durch die Ganzzahligkeitsbedingungen bei der Anzahl der Sämaschinen im Modellansatz bedingt ist. Die Ertragssteigerung hängt nämlich vom Verhältnis der Kosten der Sämaschinen zu den aussaatbedingten Ertragsverlusten ab. Wenn der kostenminimale Maschineneinsatz mit Windauflage den Einsatz einer zusätzlichen Maschine erfordert, kann dies dazu führen, dass ausreichende Kapazitäten zur Aussaat zur Verfügung stehen, was zu einem geringeren Ertragsverlust oder sogar zu einer Ertragssteigerung im Vergleich zur Situation ohne Windauflage führen kann.

Es ist naheliegend zu fragen, ob sich eine Ertragssteigerung durch den Einsatz zusätzlicher Maschinen auch ohne Windauflage lohnen würde. Allerdings zeigt sich, dass für die beiden hier betrachteten Fälle das Gleiche wie für alle Fälle gilt: Die Gesamtkosten der Aussaat mit Windauflage sind immer gleich oder größer als die Gesamtkosten der Aussaat ohne Windauflage, und die Windauflage bewirkt eine grundlegende Verschiebung der Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste und somit auch der Gesamtkosten der Aussaat. Daher ist der Kostenverlauf ohne Windauflage in Bezug auf die Überlegung, ob sich eine zusätzliche Maschine nicht auch ohne Windauflage lohnen würde, nicht direkt mit dem Kostenverlauf mit Windauflage vergleichbar. Es lässt sich somit festhalten, dass sich eine Ertragssteigerung durch den Einsatz zusätzlicher Maschinen nicht auch schon in der Situation ohne Windauflage lohnt.

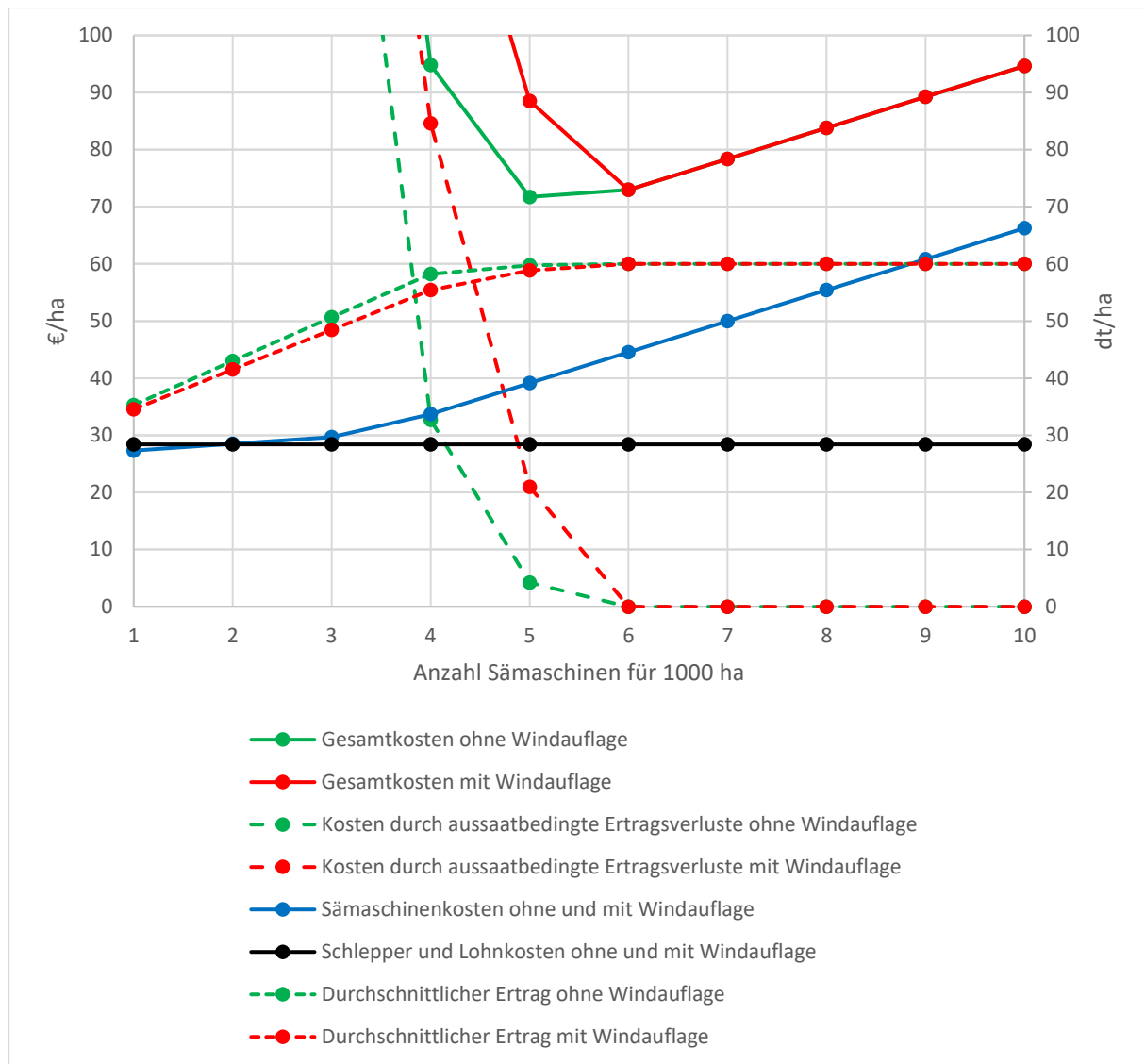


Abbildung 14: Detaillierter Verlauf aller Bestandteile der Aussaatkosten und des durchschnittlichen Ertrags für 1000 ha für den kleinen Betrieb mit Sommergerste (Direktsaat) in Gießen (Quelle: Eigene Berechnung)

5.3.3 Bewertung der Anbaukulturen inklusive und exklusive Ernte- und Lohnarbeiten

Tabelle 87 und Tabelle 88 zeigen die Reduktion des Verfahrensumfanges und die Kostensteigerungen der Aussaat durch die Windauflage, geordnet nach abnehmender Reduktion des Verfahrensumfanges unter Berücksichtigung der Ernte- und Lohnarbeiten in den Anbauverfahren. In Gießen sinkt der Verfahrensumfang durch die Windauflage nie. Die Reduktion der Verfahrensumfänge beschränkt sich auf die Stationen Boltenhagen und Teterow, wobei Boltenhagen stärker betroffen ist. In 12 Fällen wird der Verfahrensumfang der Sommergerste durch die Windauflage eingeschränkt, in vier Fällen beim Winterweizen und einmal bei der

Zuckerrübe. Die Reduktion des Verfahrensumfangs fällt mit durchschnittlich 20,81 ha bei der Sommergerste am deutlichsten aus. Beim Winterweizen beträgt die Reduktion durchschnittlich 10,67 ha und bei der Zuckerrübe durchschnittlich marginale 0,11 ha. Die Kostensteigerung der Aussaat bei gleichzeitiger Reduktion des Verfahrensumfangs beträgt für die Sommergerste durchschnittlich 38,70 €/ha, für den Winterweizen 19,24 €/ha und für die Zuckerrübe 46,88 €/ha.

Durch die Exkludierung der Ernte- und Lohnarbeiten aus den Anbauverfahren in der Tabelle 89 und der Tabelle 90 steigt die Anzahl der Fälle, bei denen die Windauflage bei der Aussaat den Verfahrensumfang limitiert, von 17 auf 24 an. Auch hier beschränkt sich die Reduktion der Verfahrensumfänge auf die Stationen Teterow und Boltenhagen und auch hier ist Boltenhagen stärker betroffen. In 12 Fällen wird auch hier der Verfahrensumfang der Sommergerste durch die Windauflage eingeschränkt, in acht Fällen beim Winterweizen, in drei Fällen beim Mais und in einem Fall bei der Zuckerrübe. Die Reduktion des Verfahrensumfangs fällt mit durchschnittlich 30,17 ha beim Winterweizen am deutlichsten aus. Es folgt die Sommergerste mit durchschnittlich 23,52 ha, der Mais mit durchschnittlich 9,72 ha und die Zuckerrübe mit durchschnittlich 6,80 ha. Die durchschnittliche Kostensteigerung der Aussaat bei gleichzeitiger Reduktion des Verfahrensumfangs beträgt für die Zuckerrübe 46,88 €/ha, für die Sommergerste 38,70 €/ha, für den Winterweizen 22,02 €/ha und für den Mais 4,62 €/ha. Insgesamt steigt also unter Außerachtlassung der Ernte- und Lohnarbeiten die Anzahl der Fälle, bei welchen die Aussaat limitierend wirkt. Auch die Reduktion des Verfahrensumfanges steigt zum Teil deutlich an.

Tabelle 87 bis Tabelle 90 verdeutlichen, dass bei integrativer Betrachtung der Aussaat als Arbeitsgang innerhalb eines Anbauverfahrens, in den meisten Fällen mit keiner Veränderung durch die Windauflage zurechnen ist, da in den meisten Fällen der Verfahrensumfang von einem anderen Arbeitsgang limitiert wird. Die teils großen Kostensteigerungen bei der Aussaat durch den großen Verlust an FAT in den Aussaatzeitspannen relativiert sich bei integrativer Betrachtung der Aussaat im Anbauverfahren, sodass nur in Boltenhagen und Teterow mit steigenden Aussaatkosten durch die Windauflage zu rechnen ist. Dies betrifft vor allem die Sommergerste, den Winterweizen und die Zuckerrübe. Lässt ein Landwirt die Gülleausbringung beim Mais im Lohn erledigen, kann der Verfahrensumfang auch für Mais eingeschränkt werden. Die Einschränkungen fallen bei den hier analysierten Stationen allerdings eher moderat

aus, sodass ein Landwirt durch die Auswahl gegen die Windauflage besonders resilienter Anbauverfahren, die Gestaltung der Fruchtfolge im Hinblick auf Arbeitsspitzen und die FAT zur Aussaat den Auswirkungen der Windauflage finanziell und arbeitswirtschaftlich gut begegnen kann. Da die Kostensteigerungen der Aussaat durch die Windauflage in Kombination mit dem Verfahrensumfang der Anbauverfahren nur zu geringen Änderungen der Direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistung führen, ist mit keiner großen Belastung der landwirtschaftlichen Betriebe zu rechnen.

Tabelle 87: Reduktion des Verfahrensumfangs und Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen inklusive Ernte- und Lohnarbeiten durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Reduktion des Verfahrensumfangs, Teil 1 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Anbauverfahren, Betriebstyp	Standort	Reduktion Verfahrens- umfang (ha)	Kostensteig- erung Aussaat (€/ha)
Sommergerste, Direktsaat, groß	Boltenhagen	33,69	54,26
Sommergerste, wendend, groß	Boltenhagen	32,01	30,28
Sommergerste, nichtwendend, groß	Boltenhagen	30,50	55,02
Sommergerste, wendend, groß	Teterow	27,30	24,42
Winterweizen, nichtwendend, groß	Teterow	27,00	17,55
Sommergerste, Direktsaat, groß	Teterow	25,83	49,00
Sommergerste, nichtwendend, groß	Teterow	19,27	43,79
Sommergerste, wendend, klein	Boltenhagen	16,36	15,76
Sommergerste, nichtwendend, klein	Boltenhagen	15,94	24,11
Sommergerste, Direktsaat, klein	Boltenhagen	14,85	77,42
Sommergerste, Direktsaat, klein	Teterow	12,48	59,68
Winterweizen, nichtwendend, klein	Teterow	11,94	9,32
Sommergerste, wendend, klein	Teterow	11,86	12,13
Sommergerste, nichtwendend, klein	Teterow	9,59	18,54
Winterweizen, Direktsaat, groß	Teterow	3,04	27,62
Winterweizen, nichtwendend, groß	Boltenhagen	0,69	22,48
Zuckerrübe, wendend, klein	Boltenhagen	0,11	46,88
Winterweizen, wendend, klein	Giessen	0,00	0,00
Winterweizen, wendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Winterweizen, wendend, klein	Teterow	0,00	6,27
Winterweizen, wendend, groß	Teterow	0,00	11,74
Winterweizen, wendend, klein	Boltenhagen	0,00	10,70
Winterweizen, wendend, groß	Boltenhagen	0,00	16,71
Winterweizen, nichtwendend, klein	Giessen	0,00	0,52
Winterweizen, nichtwendend, groß	Giessen	0,00	0,81
Winterweizen, nichtwendend, klein	Boltenhagen	0,00	14,07
Winterweizen, Direktsaat, klein	Giessen	0,00	0,74
Winterweizen, Direktsaat, groß	Giessen	0,00	1,19
Winterweizen, Direktsaat, klein	Teterow	0,00	21,86
Winterweizen, Direktsaat, klein	Boltenhagen	0,00	29,94

Tabelle 88: Reduktion des Verfahrensumfangs und Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen inklusive Ernte- und Lohnarbeiten durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Reduktion des Verfahrensumfangs, Teil 2 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Anbauverfahren, Betriebstyp	Standort	Reduktion Verfahrens- umfang (ha)	Kostensteig- erung Aussaat (€/ha)
Winterweizen, Direktsaat, groß	Boltenhagen	0,00	33,31
Sommergerste, wendend, klein	Giessen	0,00	0,78
Sommergerste, wendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Sommergerste, nichtwendend, klein	Giessen	0,00	1,85
Sommergerste, nichtwendend, groß	Giessen	0,00	4,23
Sommergerste, Direktsaat, klein	Giessen	0,00	1,24
Sommergerste, Direktsaat, groß	Giessen	0,00	7,39
Mais, nichtwendend, klein	Giessen	0,00	0,00
Mais, nichtwendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Mais, nichtwendend, klein	Teterow	0,00	3,60
Mais, nichtwendend, groß	Teterow	0,00	3,97
Mais, nichtwendend, klein	Boltenhagen	0,00	5,13
Mais, nichtwendend, groß	Boltenhagen	0,00	8,47
Mais, wendend, klein	Giessen	0,00	0,00
Mais, wendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Mais, wendend, klein	Teterow	0,00	3,60
Mais, wendend, groß	Teterow	0,00	3,97
Mais, wendend, klein	Boltenhagen	0,00	5,13
Mais, wendend, groß	Boltenhagen	0,00	8,47
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	Giessen	0,00	0,48
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	Teterow	0,00	17,35
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	Teterow	0,00	14,66
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	Boltenhagen	0,00	46,88
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	Boltenhagen	0,00	41,39
Zuckerrübe, wendend, klein	Giessen	0,00	0,48
Zuckerrübe, wendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Zuckerrübe, wendend, klein	Teterow	0,00	17,35
Zuckerrübe, wendend, groß	Teterow	0,00	14,66
Zuckerrübe, wendend, groß	Boltenhagen	0,00	41,39

Tabelle 89: Reduktion des Verfahrensumfangs und Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen exklusive Ernte- und Lohnarbeiten durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Reduktion des Verfahrensumfangs, Teil 1 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Anbauverfahren, Betriebstyp	Standort	Reduktion Verfahrens- umfang (ha)	Kostensteig- erung Aussaat (€/ha)
Sommergerste, wendend, groß	Boltenhagen	45,68	30,28
Winterweizen, Direktsaat, groß	Boltenhagen	43,61	33,31
Sommergerste, Direktsaat, groß	Boltenhagen	43,06	54,26
Winterweizen, Direktsaat, groß	Teterow	38,61	27,62
Winterweizen, nichtwendend, groß	Boltenhagen	36,18	22,48
Winterweizen, nichtwendend, groß	Teterow	32,57	17,55
Sommergerste, nichtwendend, groß	Boltenhagen	30,50	55,02
Sommergerste, wendend, groß	Teterow	27,30	24,42
Winterweizen, Direktsaat, klein	Boltenhagen	26,89	29,94
Sommergerste, Direktsaat, groß	Teterow	25,83	49,00
Winterweizen, Direktsaat, klein	Teterow	23,72	21,86
Sommergerste, Direktsaat, klein	Boltenhagen	23,56	77,42
Winterweizen, nichtwendend, klein	Boltenhagen	20,89	14,07
Sommergerste, nichtwendend, groß	Teterow	19,27	43,79
Winterweizen, nichtwendend, klein	Teterow	18,85	9,32
Sommergerste, wendend, klein	Boltenhagen	17,16	15,76
Mais, nichtwendend, klein	Boltenhagen	16,07	5,13
Sommergerste, nichtwendend, klein	Boltenhagen	15,94	24,11
Sommergerste, Direktsaat, klein	Teterow	12,48	59,68
Sommergerste, wendend, klein	Teterow	11,86	12,13
Sommergerste, nichtwendend, klein	Teterow	9,59	18,54
Mais, nichtwendend, klein	Teterow	9,11	3,60
Zuckerrübe, wendend, klein	Boltenhagen	6,80	46,88
Mais, wendend, klein	Boltenhagen	3,99	5,13
Winterweizen, wendend, klein	Giessen	0,00	0,00
Winterweizen, wendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Winterweizen, wendend, klein	Teterow	0,00	6,27
Winterweizen, wendend, groß	Teterow	0,00	11,74
Winterweizen, wendend, klein	Boltenhagen	0,00	10,70
Winterweizen, wendend, groß	Boltenhagen	0,00	16,71

Tabelle 90: Reduktion des Verfahrensumfangs und Kostensteigerung der Aussaat der Anbaukulturen exklusive Ernte- und Lohnarbeiten durch die Windauflage, sortiert nach abnehmender Reduktion des Verfahrensumfangs, Teil 2 von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Anbauverfahren, Betriebstyp	Standort	Reduktion Verfahrens- umfang (ha)	Kostensteig- erung Aussaat (€/ha)
Winterweizen, nichtwendend, klein	Giessen	0,00	0,52
Winterweizen, nichtwendend, groß	Giessen	0,00	0,81
Winterweizen, Direktsaat, klein	Giessen	0,00	0,74
Winterweizen, Direktsaat, groß	Giessen	0,00	1,19
Sommergerste, wendend, klein	Giessen	0,00	0,78
Sommergerste, wendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Sommergerste, nichtwendend, klein	Giessen	0,00	1,85
Sommergerste, nichtwendend, groß	Giessen	0,00	4,23
Sommergerste, Direktsaat, klein	Giessen	0,00	1,24
Sommergerste, Direktsaat, groß	Giessen	0,00	7,39
Mais, nichtwendend, klein	Giessen	0,00	0,00
Mais, nichtwendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Mais, nichtwendend, groß	Teterow	0,00	3,97
Mais, nichtwendend, groß	Boltenhagen	0,00	8,47
Mais, wendend, klein	Giessen	0,00	0,00
Mais, wendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Mais, wendend, klein	Teterow	0,00	3,60
Mais, wendend, groß	Teterow	0,00	3,97
Mais, wendend, groß	Boltenhagen	0,00	8,47
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	Giessen	0,00	0,48
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	Teterow	0,00	17,35
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	Teterow	0,00	14,66
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	Boltenhagen	0,00	46,88
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	Boltenhagen	0,00	41,39
Zuckerrübe, wendend, klein	Giessen	0,00	0,48
Zuckerrübe, wendend, groß	Giessen	0,00	0,00
Zuckerrübe, wendend, klein	Teterow	0,00	17,35
Zuckerrübe, wendend, groß	Teterow	0,00	14,66
Zuckerrübe, wendend, groß	Boltenhagen	0,00	41,39

5.4 Bewertung der Ergebnisse der Risikoanalyse

Wie bereits zu Beginn von Kapitel 5 erwähnt, enthalten die Tabellen und Abbildungen im folgenden Abschnitt keine neuen Ergebnisse. Sie bieten lediglich alternative Darstellungen der Ergebnisse zu den verschiedenen Mechanisierungsalternativen aus Kapitel 4 oder präsentieren ausgewählte Beispiele aus dem Anhang.

Die Ergebnisse für die FAT (Feldarbeitstage) und den kostenminimalen Maschineneinsatz wurden auf Basis des 20 %-Quantils berechnet. Für die Risikoanalyse wurden zusätzlich das 10 %-Quantil, das 30 %-Quantil und das 40 %-Quantil ermittelt. In der Risikoanalyse werden diese Quantile ausschließlich als Mechanisierungsalternativen und nicht direkt als Quantile bezeichnet: risikoaverse Mechanisierung ($M_{rav} Q(0,10)$), mittlere risikoaverse Mechanisierung ($M_{mrav} Q(0,20)$), mittlere risikoaffine Mechanisierung ($M_{mraf} Q(0,30)$) und risikoaffine Mechanisierung ($M_{raf} Q(0,40)$). Um die Ergebnisse klar zu verstehen, ist es wichtig zu betonen, dass im Folgenden bei der Angabe von Prozentwerten stets das Komplement der 21 Quantilswerte (0 %-Quantil bis 100 %-Quantil, gestuft in 5 %-Schritten) gemeint ist. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit, mit der die FAT mindestens zur Verfügung steht, von zentraler Bedeutung ist. Für ein besseres Verständnis wird an dieser Stelle auf die Gleichungen 16, 17 und 18 im Kapitel 3.4 verwiesen.

Aus der Risikoanalyse ergeben sich aufgrund der verschiedenen Anbaukulturen, Stationen, Betriebstypen und Anbauverfahren äußerst vielfältige und kontroverse Ergebnisse. Die Ergebnisse zu den Erwartungswerten der Aussaatkosten verschiedener Mechanisierungsalternativen zeigen jedoch, dass die Einführung der Windauflage vor allem Auswirkungen auf die windreichen Stationen Teterow und Boltenhagen hat, während die Auswirkungen auf die windarme Station Gießen gering ausfallen. Tendenziell steigt sowohl der Erwartungswert der Aussaatkosten als auch die Streuung der Kosten, wobei diese Effekte für die Stationen Teterow und Boltenhagen wesentlich bedeutender sind. Die Ergebnisse zeigen, dass Risikoaffinität vor allem bei Anbaukulturen mit hohen Kapazitäten an Feldarbeitstagen (FAT) und Anbauverfahren mit geringem Arbeitszeitanpruch zur Aussaat in Bezug auf den Erwartungswert der Aussaatkosten von Vorteil sein kann, während Risikoaversion tendenziell bei Anbaukulturen mit geringen FAT-Kapazitäten und Anbauverfahren mit hohem Arbeitszeitanpruch zur Aussaat vorteilhaft ist. Die Kostenunterschiede fallen gerade bei Anbauverfahren mit hohen FAT-Kapazitäten und geringem Arbeitszeitanpruch der Anbauverfahren zur Aussaat äußerst gering aus, sodass sich hier aus der Risikoeinstellung der Landwirte kein großer Unterschied für den Erwartungswert der Aussaatkosten ergibt. Die Kostenunterschiede bezüglich des Erwartungswertes der Aussaatkosten nehmen mit geringeren FAT-Kapazitäten, höherem Arbeitszeitanpruch des Anbauverfahrens zur Aussaat und höheren Kapazitätsverlusten durch die Windauflage zu, sodass sich hier ein wesentlich differenziertes Bild der Erwartungswerte der Aussaatkosten ergibt.

Um einen abschließenden Überblick und eine Bewertung der vielfältigen Ergebnisse zu schaffen, werden diese in Tabelle 91 bis 93 zusammengefasst. Da die Ergebnisse für die Anbauverfahren wendend und nichtwendend bei Mais und Zuckerrüben identisch sind, wird in Tabelle 93 für Mais und Zuckerrüben nicht zwischen den Anbauverfahren unterschieden. Von den Ergebnissen wurde hier abgeleitet, welche Varianten zu den geringsten Erwartungswerten der Aussaatkosten führen (markiert mit einem Sternchen "*"). Wenn in einer Zeile keine Mechanisierungsalternative markiert ist, bedeutet dies, dass alle Mechanisierungsalternativen den gleichen Erwartungswert der Aussaatkosten aufweisen. In der Spalte "Steigende Risikoaversion" wird angegeben, ob der Erwartungswert der Aussaatkosten mit steigender Risikoaversion steigt oder sinkt. Steigende Erwartungswerte der Aussaatkosten (risikoaffine Mechanisierung ($M_{raf} Q(0,40)$) $\leq$ mittlere risikoaffine Mechanisierung ($M_{mraf} Q(0,30)$) $\leq$ mittlere risikoaverse Mechanisierung ($M_{mrav} Q(0,20)$) $\leq$ risikoaverse Mechanisierung ($M_{rav} Q(0,10)$)) sind mit einem Pfeil nach oben " $\uparrow$ " markiert (was der Theorie von Hypothese 5 entspricht), während sinkende Erwartungswerte der Aussaatkosten ($M_{raf} Q(0,40) \geq M_{mraf} Q(0,30) \geq M_{mrav} Q(0,20) \geq M_{rav} Q(0,10)$) mit einem Pfeil nach unten " $\downarrow$ " markiert sind (was der Theorie von Hypothese 5 widerspricht). Wenn keine Markierung in der Spalte vorhanden ist, bedeutet dies, dass alle Mechanisierungsalternativen die gleichen Erwartungswerte der Aussaatkosten aufweisen. Wenn sich in einer Zeile zwei oder mehr entgegengesetzte Pfeile befinden, bedeutet dies, dass die Erwartungswerte der Aussaatkosten mit steigender Risikoaversion nicht einheitlich verlaufen. Zum Beispiel sinken die Erwartungswerte der Aussaatkosten für den kleinen Betrieb in Teterow mit Windauflage für Sommergerste (wendend) mit zunehmender Risikoaversion von $M_{raf} Q(0,40)$ bis zu $M_{mrav} Q(0,20)$ zunächst ab, bevor sie von $M_{mrav} Q(0,20)$ zu $M_{rav} Q(0,10)$ wieder ansteigen (vgl. Tabelle 77). Entgegengesetzte Pfeile treten also bei allen Varianten auf, bei denen weder $M_{raf} Q(0,40)$ noch $M_{rav} Q(0,10)$ zur kostengünstigsten Aussaat führen.

Die Spalte "Veränderung" gibt an, ob sich durch die Windauflagen Veränderungen bezüglich der Markierungen der einzelnen Mechanisierungsalternativen ergeben. Sie dient der Beurteilung der Hypothese 6, nach welcher die Windauflage risikoaversere Mechanisierungsalternativen bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Überkapazitäten) begünstigt. Als Varianten, für die Hypothese 6 zutrifft, werden alle Varianten gezählt, bei denen sich entweder die "*" - Markierungen im Vergleich der Situation ohne zur Situation mit Windauflage nach rechts verschieben und alle Varianten, bei denen im Vergleich der Situation ohne zur Situation mit Windauflage weniger risikoaverse Mechanisierungsalternativen aus dem Optimum entfallen. Diese

Varianten werden in der Spalte "Veränderungen" mit einem "✓" gekennzeichnet. Zum Beispiel ist dies der Fall bei der Zuckerrübe für den großen Betrieb in Gießen, wenn ohne Windauflage $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$, $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ und $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ markiert sind und mit Windauflage nur noch $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ markiert ist.

Varianten, für die das Gegenteil der Hypothese 6 zutrifft, werden mit einem "x" markiert. Das bedeutet, dass sich hier entweder die Markierungen der Mechanisierungsalternativen im Vergleich der Situation ohne zur Situation mit Windauflage nach links verschieben oder risikoaversere Mechanisierungsalternativen in der Situation mit Windauflage aus dem Optimum entfallen. Ein Beispiel dafür ist der Winterweizen (nichtwendend) in Teterow für den großen Betrieb, bei dem ohne Windauflage $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$, $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ und $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ markiert sind und mit Windauflage nur noch $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ und $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$.

Eine leere Zeile in der Spalte "Veränderung" bedeutet, dass es durch die Windauflage keine Veränderung bezüglich der Markierungen der einzelnen Mechanisierungsalternativen gegeben hat. Hierunter fallen alle Varianten, bei denen in mindestens einer der beiden Situationen - mit oder ohne Windauflage - keine Markierungen vorhanden sind. Zum Beispiel für den Winterweizen (wendend) in Gießen für den großen Betrieb: Hier sind weder für die Situation ohne noch für die Situation mit Windauflage Markierungen vorhanden. Oder der Winterweizen (Direktsaat) in Teterow für den kleinen Betrieb: Hier sind zwar in der Situation mit Windauflage Markierungen vorhanden, aber in der Situation ohne Windauflage gibt es keine Markierungen, sodass hier keine Veränderung feststellbar ist. Ebenfalls erhalten alle Varianten, bei denen durch die Windauflage eine Erweiterung der Markierungen auf weiter risikoaversere Mechanisierungsalternativen erfolgt, während gleichzeitig in der Situation ohne Windauflage Markierungen bei weniger risikoaversen Mechanisierungsalternativen vorhanden sind, keine Markierung in der Spalte "Veränderung". Ein Beispiel hierfür ist der Winterweizen (nichtwendend) für den kleinen Betrieb in Gießen: Hier erweitern sich die Markierungen von $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ ohne Windauflage auf $M_{\text{raf}} Q(0,40)$, $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ und $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ mit Windauflage. Die Variante Sommergerste (Direktsaat) für den großen Betrieb in Teterow erhält zum Beispiel ebenfalls eine leere Zeile in der Spalte "Veränderung", da der Wegfall einer weniger risikoaversen und einer risikoaverseren Mechanisierungsalternative keine eindeutige Festlegung erlaubt.

Insgesamt ergeben sich durch die Kombination von 4 Anbaukulturen, 3 Stationen, 3 beziehungsweise 2 Anbauverfahren und 2 Betriebstypen 60 Varianten - jeweils mit und ohne Windauflage. Tabelle 91 bis Tabelle 93 zeigen nur 48 Varianten, da die Ergebnisse für Mais und Zuckerrübe nicht getrennt nach Anbauverfahren dargestellt sind.

Tabelle 91: Zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse zur Risikoanalyse für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für Winterweizen ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Anbauverfahren, Standort, Betriebstyp	ohne Windauflage					mit Windauflage					Veränderung
	$M_{raf} Q(0,40)$	$M_{mraf} Q(0,30)$	$M_{mrav} Q(0,20)$	$M_{rav} Q(0,10)$	Steigende Risikoaversion	$M_{raf} Q(0,40)$	$M_{mraf} Q(0,30)$	$M_{mrav} Q(0,20)$	$M_{rav} Q(0,10)$	Steigende Risikoaversion	
Winterweizen, wendend, Gießen, klein	*	*			↑						
Winterweizen, wendend, Gießen, groß											
Winterweizen, wendend, Teterow, klein	*	*	*		↑				*	↓	✓
Winterweizen, wendend, Teterow, groß								*		↓	
Winterweizen, wendend, Boltenhagen, klein			*		↓ ↑				*	↓	✓
Winterweizen, wendend, Boltenhagen, groß	*	*	*		↑				*	↓	✓
Winterweizen, nichtwendend, Gießen, klein	*				↑	*	*	*		↑	
Winterweizen, nichtwendend, Gießen, groß		*	*	*	↓		*	*	*	↓	
Winterweizen, nichtwendend, Teterow, klein	*				↑				*	↓	✓
Winterweizen, nichtwendend, Teterow, groß		*	*	*	↓		*	*		↓ ↑	x
Winterweizen, nichtwendend, Boltenhagen, klein		*	*		↓ ↑		*	*		↓ ↑	
Winterweizen, nichtwendend, Boltenhagen, groß				*	↓				*	↓	
Winterweizen, Direktsaat, Gießen, klein											
Winterweizen, Direktsaat, Gießen, groß											
Winterweizen, Direktsaat, Teterow, klein							*	*		↓ ↑	
Winterweizen, Direktsaat, Teterow, groß							*	*		↓ ↑	
Winterweizen, Direktsaat, Boltenhagen, klein				*	↓		*	*		↓	x
Winterweizen, Direktsaat, Boltenhagen, groß				*	↓		*	*		↓ ↑	x

* = Variante mit dem niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten

↑ = Erwartungswert der Aussaatkosten steigt mit steigender Risikoaversion

↓ = Erwartungswert der Aussaatkosten sinkt mit steigender Risikoaversion

✓ = Windauflage begünstigt risikoaversere Mechanisierungsalternativen bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Überkapazitäten) (Hypothese 6 gilt)

x = Gegenteil von Hypothese 6 gilt

Q = Quantil

$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung

$M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung

Tabelle 92: Zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse zur Risikoanalyse für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für Sommergerste ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Anbauverfahren, Standort, Betriebstyp	ohne Windauflage					mit Windauflage					Veränderung
	$M_{raf} Q(0,40)$	$M_{mraf} Q(0,30)$	$M_{mrav} Q(0,20)$	$M_{rav} Q(0,10)$	Steigende Risikoaversion	$M_{raf} Q(0,40)$	$M_{mraf} Q(0,30)$	$M_{mrav} Q(0,20)$	$M_{rav} Q(0,10)$	Steigende Risikoaversion	
Sommergerste, wendend, Gießen, klein				*	↓				*	↓	
Sommergerste, wendend, Gießen, groß				*	↓				*	↓	
Sommergerste, wendend, Teterow, klein				*	↓			*		↓ ↑	x
Sommergerste, wendend, Teterow, groß				*	↓			*		↓ ↑	x
Sommergerste, wendend, Boltenhagen, klein				*	↓				*	↓	
Sommergerste, wendend, Boltenhagen, groß				*	↓			*		↓ ↑	x
Sommergerste, nichtwendend, Gießen, klein				*	↓				*	↓	
Sommergerste, nichtwendend, Gießen, groß				*	↓			*		↓ ↑	x
Sommergerste, nichtwendend, Teterow, klein				*	↓			*		↓ ↑	x
Sommergerste, nichtwendend, Teterow, groß		*	*		↓ ↑	*				↑ ↓ ↑	x
Sommergerste, nichtwendend, Boltenhagen, klein				*	↓			*	*	↓	x
Sommergerste, nichtwendend, Boltenhagen, groß			*		↓ ↑	*	*			↑	x
Sommergerste, Direktsaat, Gießen, klein				*	↓			*		↓ ↑	x
Sommergerste, Direktsaat, Gießen, groß				*	↓			*		↓ ↑	x
Sommergerste, Direktsaat, Teterow, klein	*	*			↑	*				↑	x
Sommergerste, Direktsaat, Teterow, groß	*	*	*		↑		*			↓ ↑	
Sommergerste, Direktsaat, Boltenhagen, klein		*			↓ ↑			*		↓ ↑	✓
Sommergerste, Direktsaat, Boltenhagen, groß		*			↓ ↑	*	*			↑	x

* = Variante mit dem niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten

↑ = Erwartungswert der Aussaatkosten steigt mit steigender Risikoaversion

↓ = Erwartungswert der Aussaatkosten sinkt mit steigender Risikoaversion

✓ = Windauflage begünstigt risikoaversere Mechanisierungsalternativen bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Überkapazitäten) (Hypothese 6 gilt)

x = Gegenteil von Hypothese 6 gilt

Q = Quantil

$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung

$M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung

Tabelle 93: Zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse zur Risikoanalyse für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen für Mais und Zuckerrübe ohne und mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Standort, Betriebstyp	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)	Steigende Risikoaversion	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)	Steigende Risikoaversion	Veränderung
Mais, Gießen, klein	*				↑	*	*			↑	
Mais, Gießen, groß											
Mais, Teterow, klein	*				↑			*	*	↓	✓
Mais, Teterow, groß		*	*	*	↓						
Mais, Boltenhagen, klein				*	↓	*				↑↓	x
Mais, Boltenhagen, groß			*	*	↓		*	*		↓↑	x
Zuckerrübe, Gießen, klein				*	↓				*	↓	
Zuckerrübe, Gießen, groß		*	*	*	↓				*	↓	✓
Zuckerrübe, Teterow, klein				*	↓		*	*		↓↑	x
Zuckerrübe, Teterow, groß			*	*	↓		*	*		↓↑	x
Zuckerrübe, Boltenhagen, klein			*		↓↑	*				↑	x
Zuckerrübe, Boltenhagen, groß		*	*		↓↑	*				↑	x

* = Variante mit dem niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten

↑ = Erwartungswert der Aussaatkosten steigt mit steigender Risikoaversion

↓ = Erwartungswert der Aussaatkosten sinkt mit steigender Risikoaversion

✓ = Windauflage begünstigt risikoaversere Mechanisierungsalternativen bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Überkapazitäten) (Hypothese 6 gilt)

x = Gegenteil von Hypothese 6 gilt

Q = Quantil

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

5.4.1 Hypothese 5

Tabelle 94 zeigt die summierten Markierungen der Mechanisierungsalternativen aus Tabelle 91 bis Tabelle 93, also wie oft die entsprechenden Mechanisierungsalternativen in Bezug auf den Erwartungswert der Aussaatkosten zur kostenminimalen Aussaat geführt haben.

Tabelle 94: Häufigkeit, in der eine Mechanisierungsalternative über alle Anbaukulturen, Anbauverfahren, Standorte und Betriebstypen zum niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten führt (Quelle: Eigene Berechnung)

ohne Windauflage				mit Windauflage			
$M_{raf} Q(0,40)$	$M_{mraf} Q(0,30)$	$M_{mrav} Q(0,20)$	$M_{rav} Q(0,10)$	$M_{raf} Q(0,40)$	$M_{mraf} Q(0,30)$	$M_{mrav} Q(0,20)$	$M_{rav} Q(0,10)$
11	17	21	31	13	18	26	17

Q = Quantil

$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung

$M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung

Insgesamt zeigt sich in Tabelle 94, dass die risikoaverseren $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{rav} Q(0,10)$ sowohl ohne als auch mit Windauflage insgesamt häufiger zu dem niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten führen als die risikoaffineren $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$.

Damit kann der Hypothese 5, nach der risikoaverse Mechanisierungsalternativen bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl zu einem höheren Erwartungswert der Aussaatkosten (Überkapazitäten) führen, nicht zugestimmt werden. Vielmehr zeigt sich eher das Gegenteil von Hypothese 5.

Entgegen der Hypothese, dass eine großzügigere Maschinenausstattung zwar zu einer Risikoreduktion durch weniger streuende Aussaatkosten, aber auch zu höheren Durchschnittskosten führt, konnten gezeigt werden, dass in den meisten Fällen die risikoaversere Mechanisierungsalternative mit einer großzügigeren Maschinenausstattung gleichzeitig zu einer durchschnittlichen Kosteneinsparung führt. Der Grund liegt im stärkeren Kosteneffekt des Ertragsverlusts durch nicht optimale Saatzeitfenster, der die Kosten der zusätzlichen Sämaschinen überwiegt. Damit ist den Ergebnissen von Donaldson (1968), Ramaratnam et al. (1986), Bolli (2007) und Lips et al. (2008), dass sich durch das risikoaverse Handeln von Landwirten bei der Auswahl ihrer Mechanisierung ein ungenutztes Einsparungspotenzial gegenüber weniger Risikoaversion ergibt, nicht grundsätzlich zuzustimmen. Insgesamt kann festgestellt werden, dass

die Planung von Maschinenkapazitäten für die Aussaat sowohl ohne als auch mit Windauflage ein geeignetes Instrument des Risikomanagements darstellt. Dies gilt hier insbesondere für die Schaffung von Maschinenüberkapazitäten zur Absicherung gegen aussaatbedingte Ertragsverluste.

Im Folgenden wird jeweils das Ergebnis einer Variante erläutert, bei der die Hypothese 5 nicht gilt sowie das Ergebnis einer Variante, bei der die Hypothese 5 zutrifft. Die Ergebnisse werden diskutiert und abschließend wird auf scheinbare Widersprüchlichkeiten der Ergebnisse bezüglich Hypothese 5 eingegangen.

Variante, für die Hypothese 5 nicht gilt

Eine Variante, bei der die risikoaverseren Mechanisierungsalternativen entgegen Hypothese 5 zu einem niedrigeren Erwartungswert der Aussaatkosten führt, ist die Sommergerste (wendend) für einen kleinen Betrieb in Gießen. Tabelle 95 zeigt den Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$) für die Mechanisierungsalternativen ohne und mit Windauflage für das 100 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil und Abbildung 15 zeigt die dazugehörige Verteilungsfunktion der Aussaatkosten. Es zeigt sich, dass der Erwartungswert der Aussaatkosten sowohl mit als auch ohne Windauflage mit steigender Risikoaversion abnimmt beziehungsweise gleichbleibend ist. So führt $M_{rav} Q(0,10)$ mit 15,48 €/ha ohne Windauflage und mit 15,19 €/ha mit Windauflage zur günstigsten Aussaat.

Dass der Erwartungswert der Aussaatkosten paradoxerweise, mit Ausnahme von $M_{mraf} Q(0,30)$, mit Windauflage niedriger liegt, wird in Kapitel 5.4.3 und nicht an dieser Stelle diskutiert (Windauflage kann auch zu einem niedrigeren Erwartungswert der Aussaatkosten führen). Der Rückgang des Erwartungswertes der Aussaatkosten mit zunehmender Risikoaversion lässt sich auf den Kostenvorteil zurückführen, der durch den Einsatz zusätzlicher Maschinen, insbesondere in den hohen Quantilswerten, entsteht. So zeigt sich ohne Windauflage beim Vergleich von $M_{raf} Q(0,40)$ zu $M_{mraf} Q(0,30)$, bei dem eine Maschine mehr zum Einsatz kommt, dass hierdurch ein Kostenvorteil vom 100 %-Quantil bis zum 65 %-Quantil entsteht. Erst danach, also vom 60 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil, sind die Aussaatkosten für $M_{mraf} Q(0,30)$ mit 8,21 €/ha teurer als die von $M_{raf} Q(0,40)$ mit 7,94 €/ha. Der Verlauf der Aussaatkosten von $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{mraf} Q(0,20)$ ist ohne Windauflage identisch. Von

$M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ auf $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ steigt die Maschinenanzahl von 6 auf 8, sodass ein Kostenvorteil für $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ vom 100 %-Quantil bis zum 85 %-Quantil besteht.

Prinzipiell gilt ohne Windauflage dasselbe wie mit Windauflage. Hier haben allerdings $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ und $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ den gleichen Verlauf der Verteilungsfunktion. Im Vergleich zu $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ und $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ kommt bei $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ eine zusätzliche Maschine zum Einsatz, sodass hier ein Kostenvorteil vom 100 %-Quantil bis zum 65 %-Quantil besteht. Von $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ auf $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ steigt die Anzahl der Maschinen von 7 auf 10, wodurch sich ein Kostenvorteil für $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ vom 100 %-Quantil bis zum 90 %-Quantil ergibt. Insgesamt überkompensiert der Kostenvorteil der risikoaverseren Mechanisierungsalternativen in den oberen Quantilen den Kostennachteil in den unteren Quantilen, sodass hier mit steigender Risikoaversion der Erwartungswert der Aussaatkosten insgesamt abnimmt.

Es stellt sich natürlich die Frage, warum $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ ohne Windauflage zu 5 und nicht zu 6 Maschinen geführt hat. Es scheint, dass bei der Auswahl der Maschinen eine zu einfache Heuristik angewendet wurde. Diese basierte darauf, dass die Quantile der Feldarbeitstage (FAT) als "quasi sicher" erreicht gelten und die Maschinen dementsprechend ausgerichtet wurden. Die vorliegende Analyse verdeutlicht jedoch, dass diese Annahme nicht immer zutrifft. Die vereinfachte Heuristik kann zu signifikanten Fehlern führen. Weitere Erläuterungen dazu finden sich in Kapitel 5.4.3.

Tabelle 95: Aussaatkosten und Streuungsmaß der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Sommergerste (wendend) in Gießen mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

	Aussaatkosten (€/ha) ohne Windauflage				Aussaatkosten (€/ha) mit Windauflage				
	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)	
ex-ante festgelegte Maschinenanzahl Q(1-p)	5	6	6	8	6	6	7	10	Gewichtungs- faktoren
100%	313,52	265,61	265,61	170,96	289,30	289,30	245,85	115,94	0,025
95%	205,57	136,07	136,07	40,70	168,46	168,46	104,87	28,07	0,05
90%	104,87	41,88	41,88	9,92	103,69	103,69	44,11	11,77	0,05
85%	38,72	15,81	15,81	9,92	24,50	24,50	8,99	11,77	0,05
80%	31,48	8,21	8,21	9,92	24,50	24,50	8,99	11,77	0,05
75%	16,99	8,21	8,21	9,92	11,47	11,47	8,99	11,77	0,05
70%	9,75	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
65%	9,75	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
60%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
55%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
50%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
45%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
40%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
35%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
30%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
25%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
20%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
15%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
10%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
5%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,05
0%	7,94	8,21	8,21	9,92	8,21	8,21	8,99	11,77	0,025
E(K) (€/ha)	33,66	23,10	23,10	15,48	29,82	29,82	21,46	15,19	
D10_90 (€/ha)	96,93	33,68	33,68	0,00	95,48	95,48	35,12	0,00	

Q = Quantil, p = Wahrscheinlichkeit, E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

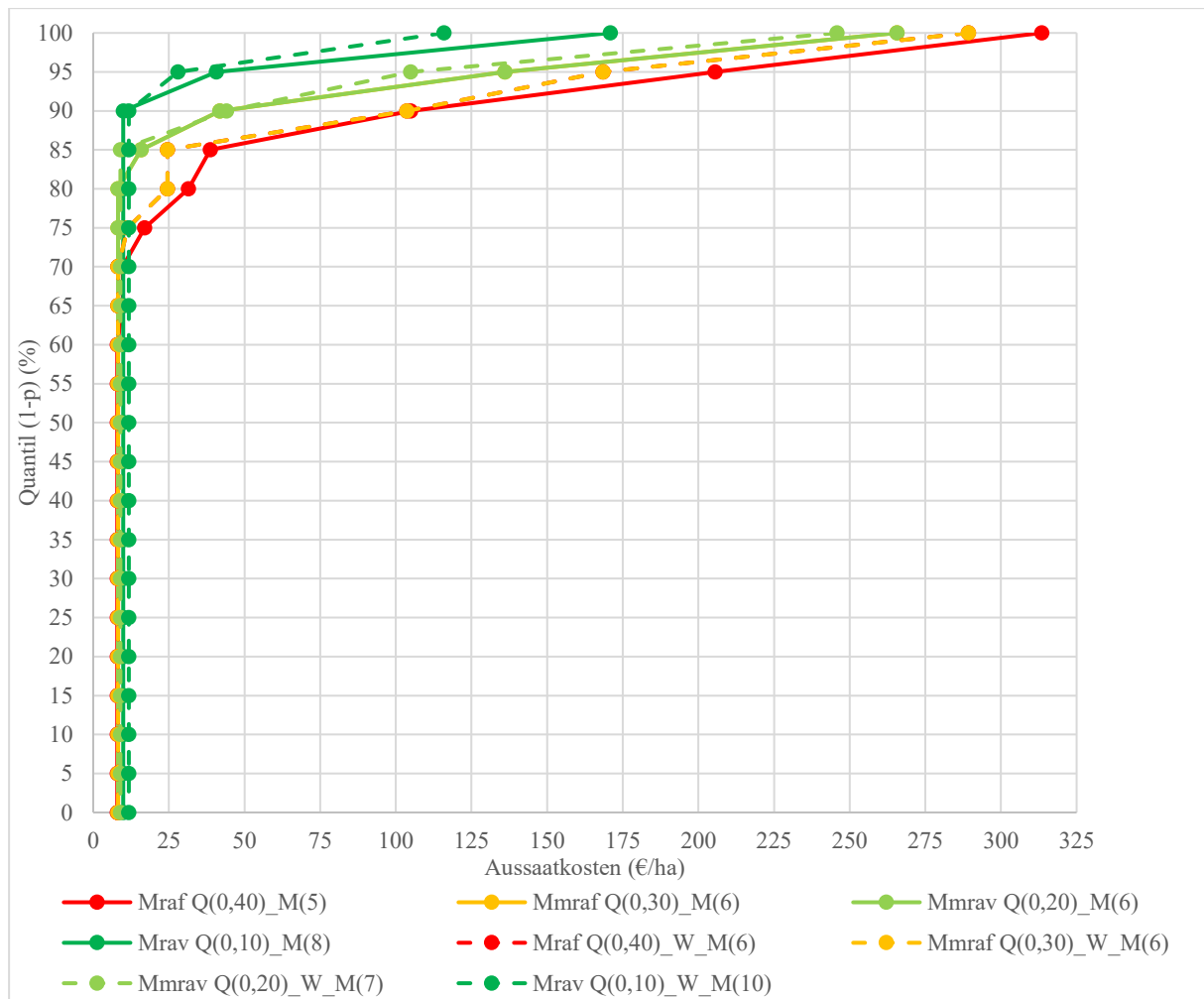


Abbildung 15: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste (wendend) in Gießen mit Windauflage (W) [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)

Variante, für die Hypothese 5 gilt

Für einen kleinen Betrieb in Teterow stellt die Sommergerste (Direktsaat) eine Variante dar, bei der die risikoaverseren Mechanisierungsalternativen gemäß Hypothese 5 zu einem höheren Erwartungswert der Aussaatkosten (Überkapazitäten) führen. In Tabelle 96 und Abbildung 16 sind die Erwartungswerte der Aussaatkosten ($E(K)$) für die Mechanisierungsalternativen ohne und mit Windauflage für das 100 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil dargestellt. Es zeigt sich, dass der Erwartungswert der Aussaatkosten mit zunehmender Risikoaversion sowohl mit als auch ohne Windauflage steigt. Ohne Windauflage führen $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ mit

77,67 €/ha zu dem günstigsten der Erwartungswert der Aussaatkosten, während mit Windauf-
lage nur noch $M_{raf} Q(0,40)$ mit 147,89 €/ha die günstigste Alternative darstellt.

Der Vorteil der risikoaffineren Mechanisierungsalternativen verstärkt sich durch die Windauf-
lage nochmals. Dennoch lässt sich der positive Effekt bei steigender Risikoaversion und damit
steigender Maschinenanzahl in beiden Situationen feststellen: Ohne Windauflage ergibt sich
bei $M_{mrav} Q(0,20)$ durch die zusätzliche Maschine im Vergleich mit $M_{raf} Q(0,40)$ und
 $M_{mrav} Q(0,30)$ ein Kostenvorteil vom 100 %-Quantil bis zum 80 %-Quantil. Dieser Kostenvorteil
wird jedoch durch den Kostennachteil vom 75 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil negiert, sodass
der gewichtete Erwartungswert der Aussaatkosten höher ist als bei den beiden risikoaffineren
Mechanisierungsalternativen. Dasselbe gilt für $M_{mrav} Q(0,20)$ im Vergleich mit $M_{rav} Q(0,10)$:
Hier liegt ein Kostenvorteil von $M_{rav} Q(0,10)$ für das 100 %-Quantil bis zum 90 %-Quantil vor.
Es zeigt sich, dass mit steigender Risikoaversion der Bereich, in dem ein Kostenvorteil bei der
risikoaversen Mechanisierungsalternative vorliegt, abnimmt. Mit Windauflage zeigt sich, dass
der Kostenvorteil, der bei der jeweils weniger risikoaversen Mechanisierungsalternative vor-
liegt, vergleichsweise größer ist als ohne Windauflage. So liegt der Kostenvorteil für
 $M_{mrav} Q(0,30)$ im Vergleich mit $M_{raf} Q(0,40)$ vom 95 %-Quantil bis zum 70 %-Quantil vor. Bei
 $M_{mrav} Q(0,20)$ im Vergleich mit $M_{mrav} Q(0,30)$ ist das vom 95 %-Quantil bis zum 80 %-Quantil
der Fall und bei $M_{mrav} Q(0,20)$ im Vergleich mit $M_{rav} Q(0,10)$ ist das vom 95 %-Quantil bis zum
85 %-Quantil der Fall.

Tabelle 96: Aussaatkosten und Streuungsmaß der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Sommergerste (Direktsaat) in Teterow mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

	Aussaatkosten (€/ha) ohne Windauflage				Aussaatkosten (€/ha) mit Windauflage				
	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mraV} Q(0,20)	M _{raV} Q(0,10)	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mraV} Q(0,20)	M _{raV} Q(0,10)	
ex-ante festgelegte Maschinenanzahl Q(1-p)	8	8	9	12	13	15	20	23	Gewichtungs- faktoren
100%	351,34	351,34	319,24	222,93	678,69	689,54	716,66	732,94	0,025
95%	274,86	274,86	233,19	127,21	536,97	526,02	498,64	482,21	0,05
90%	102,83	102,83	95,85	77,10	368,26	331,35	239,08	183,71	0,05
85%	76,01	76,01	65,69	77,10	243,97	187,94	153,18	152,36	0,05
80%	65,29	65,29	60,83	77,10	155,40	129,41	120,50	136,78	0,05
75%	55,40	55,40	60,83	77,10	98,45	93,38	120,50	136,78	0,05
70%	55,40	55,40	60,83	77,10	98,45	93,38	120,50	136,78	0,05
65%	55,40	55,40	60,83	77,10	85,37	93,38	120,50	136,78	0,05
60%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
55%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
50%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
45%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
40%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
35%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
30%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
25%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
20%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
15%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
10%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
5%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,05
0%	55,40	55,40	60,83	77,10	82,53	93,38	120,50	136,78	0,025
E(K) (€/ha)	77,67	77,67	77,90	83,25	147,89	148,34	161,87	172,08	
D10_90 (€/ha)	47,43	47,43	35,03	0,00	285,73	237,97	118,58	46,94	

Q = Quantil, p = Wahrscheinlichkeit, E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mraV} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{raV} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

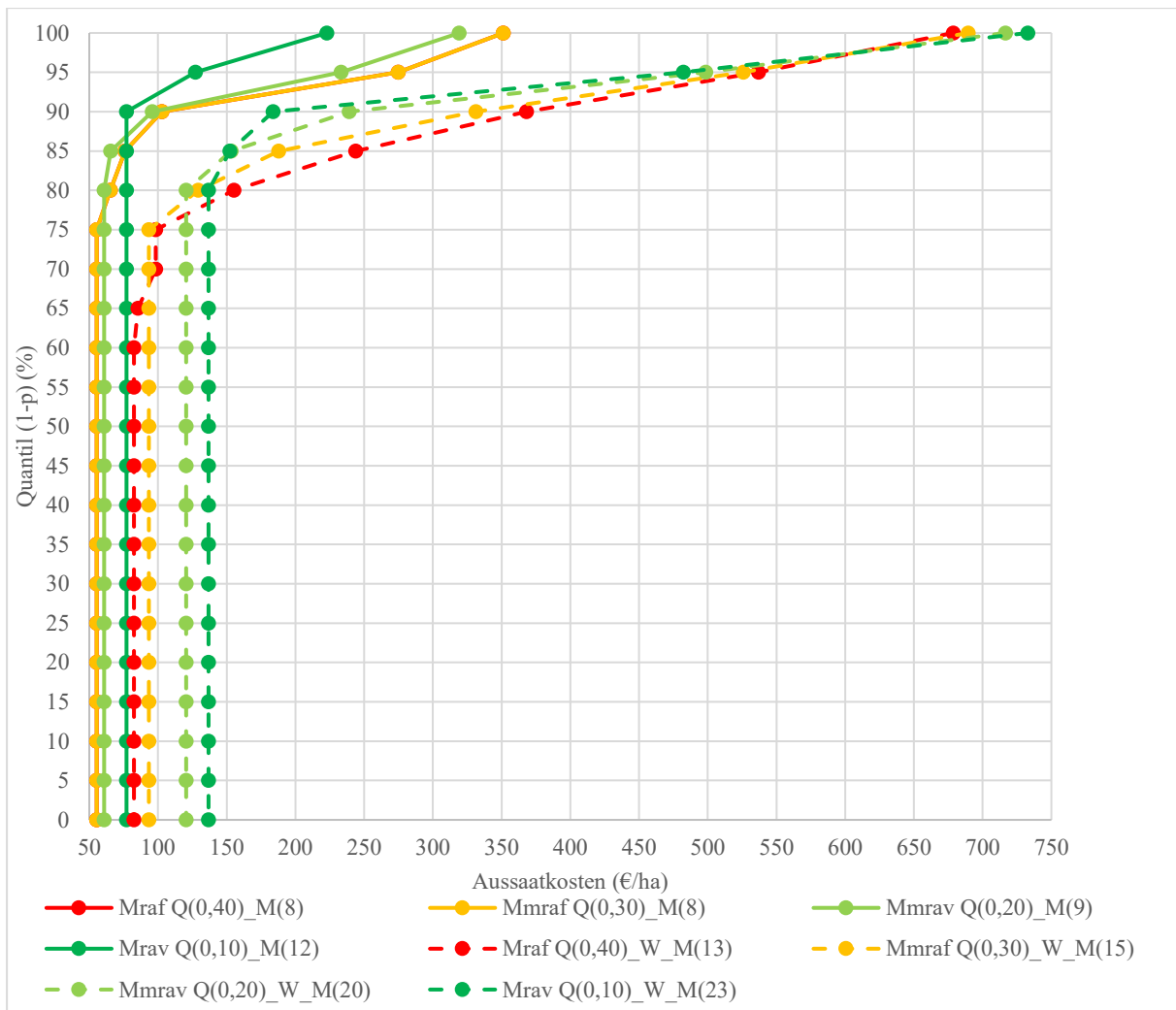


Abbildung 16: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste (Direktsaat) in Teterow mit Windauflage (W) [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)

Abbildung 16 verdeutlicht, dass Hypothese 5 gilt, wenn der Kurvenverlauf einer risikoaffineren Mechanisierung vollständig links von der risikoaverseren liegt oder wenn die Fläche zwischen den Kurven im unteren Teil (Kostenersparnis durch weniger Maschinen in unkritischen Jahren, das heißt, in niedrigen Quantilen, in denen viele FAT zur Verfügung stehen) größer ist als die Fläche zwischen den Kurven im oberen Teil (Kostennachteil durch zu wenige Maschinen und sich daraus ergebende aussaatbedingte Ertragsverluste in kritischen Jahren beziehungsweise in hohen Quantilen, in denen wenige FAT zur Verfügung stehen). Die Einteilung ergibt sich dabei aus dem Schnittpunkt der Kurvenverläufe der jeweiligen Mechanisierungsalternativen.

Erklärung scheinbarer Widersprüchlichkeiten

Wie in Tabelle 96 und Abbildung 16 ersichtlich ist, liegt mit Windauflage beim 100 %-Quantil kein Kostenvorteil mehr gegenüber der jeweils risikoaffineren Mechanisierungsalternative vor. Der Kostenvorteil tritt erst im 95 %-Quantil auf. Dieses Ergebnis erscheint zunächst paradox, kann jedoch anhand von Tabelle 96, Abbildung 16 und Abbildung 17 erläutert werden.

Tabelle 96 und Abbildung 16 zeigen, dass $M_{rav} Q(0,10)$ nur für den Bereich vom 100 %-Quantil bis zum 85 %-Quantil einen Kostenvorteil gegenüber $M_{mrav} Q(0,20)$ hat. Die Aussaatkosten beim 100 %-Quantil von $M_{rav} Q(0,10)$ betragen 732,94 €/ha und liegen damit über den Aussaatkosten von $M_{mrav} Q(0,20)$, welche 716,66 €/ha betragen. Abbildung 17 zeigt den Anteil, den die Maschinenkosten und die Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste jeweils an den Gesamtkosten der Aussaat für $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{rav} Q(0,10)$ haben, bei unterschiedlichen Anzahlen von Sämaschinen im 100 %-Quantil. Hierbei sind nur die ex-ante festgelegten Anzahlen von 20 und 23 Maschinen von Interesse. Ein Vergleich der Abbildung 17 mit beispielsweise Abbildung 8 und Abbildung 10 zeigt, dass hier die Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste nicht abnehmen und sich nicht als abklingende Kurve darstellen, sondern als horizontale Gerade.

Der Grund hierfür ist, dass im 100 %-Quantil, also die Anzahl der FAT, die mit 100 % Wahrscheinlichkeit zur Verfügung stehen, 0 ist und somit unabhängig von der Anzahl der Sämaschinen immer die maximal möglichen Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste von 596,16 €/ha anfallen. Da bei 23 Maschinen die Maschinenkosten mit 136,78 €/ha für $M_{rav} Q(0,10)$ höher sind als die Maschinenkosten in Höhe von 120,50 €/ha für 20 Maschinen, sind die Aussaatkosten im 100 %-Quantil für $M_{rav} Q(0,10)$ mit 732,94 €/ha höher als für $M_{mrav} Q(0,20)$ mit 716,66 €/ha. Da ab dem 95 %-Quantil wieder FAT zur Verfügung stehen, sind hier die Aussaatkosten für $M_{rav} Q(0,10)$ wieder niedriger als die Aussaatkosten von $M_{mrav} Q(0,20)$.

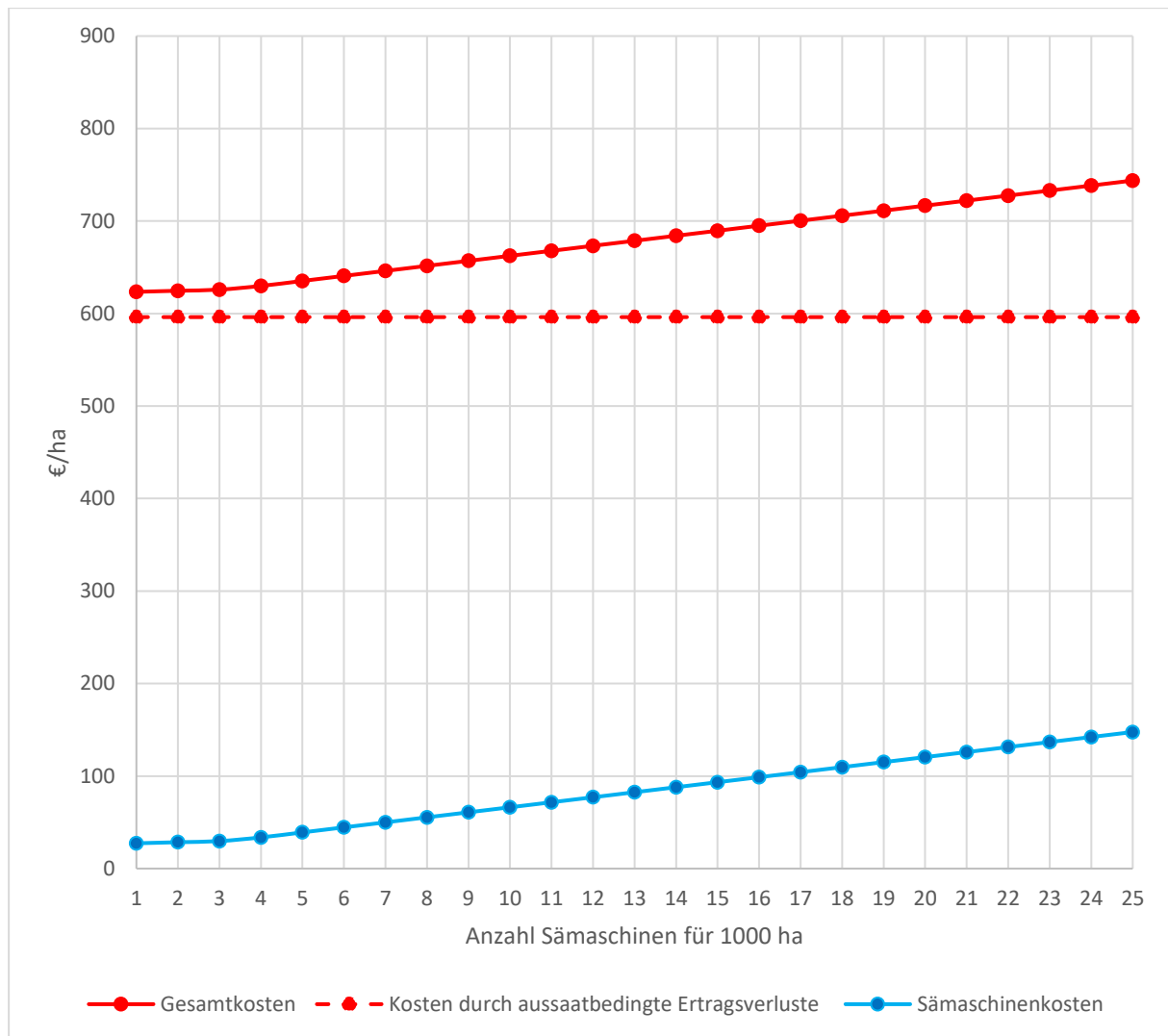


Abbildung 17: Verlauf der Gesamtkosten, der Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste und der Kosten für Sämaschinen nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung und $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung für einen kleinen Betrieb mit Sommergerste (Direktsaat) in Teterow für das 100 %-Quantil mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Die Aussaatkosten setzen sich bei der Risikoanalyse aus den Maschinenkosten und den Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste zusammen. Durch die Wahl von risikoaversen Mechanisierungsalternativen ergeben sich in der Regel Kostenvorteile in den höheren Quantilen. Dies liegt daran, dass mit zunehmendem Quantil weniger FAT zur Verfügung stehen, was die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass bei einer ex-ante festgelegten Maschinenanzahl Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste entstehen. Der Kostenvorteil bei den risikoaverseren Mechanisierungsalternativen ergibt sich durch die höhere Maschinenanzahl, die die aussaatbedingten Ertragsverluste reduziert. Je knapper die FAT sind, desto stärker ist dieser Effekt und desto

größer ist der Bereich, in dem die risikoaversen Mechanisierungsalternativen gegenüber den risikoaffinen einen Vorteil haben. Es ist jedoch auch feststellbar, dass risikoaverse Mechanisierung (Übermechanisierung) auch in den höchsten Quantilen zum Kostennachteil führen kann, wenn im 100 %-Quantil zum Beispiel keine FAT vorhanden sind. Ob Hypothese 5 für eine Variante gilt oder nicht, hängt maßgeblich davon ab, ob der Kostenvorteil durch geringere aussaatbedingte Ertragsverluste durch eine höhere Mechanisierung bei risikoaverserer Mechanisierung in den höheren Quantilen groß genug ist, um den Kostennachteil durch höhere Maschinenkosten (Übermechanisierung) in den niedrigeren Quantilen zu kompensieren oder sogar zu überkompensieren.

5.4.2 Hypothese 6

Aus Tabelle 94 geht hervor, dass $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ ohne Windauflage mit einer Häufigkeit von 21 zum niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten führt und somit im Vergleich mit den anderen Mechanisierungsalternativen am zweithäufigsten den niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten erreicht. Mit Windauflage führt $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ mit einer Häufigkeit von 26 im Vergleich mit den anderen Mechanisierungsalternativen am häufigsten zum niedrigsten Erwartungswert der Aussaatkosten. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Festlegung in Kapitel 3 auf das 80 %-Quantil bei der Berechnung der Feldarbeitstage (FAT), der Verfahrensumfänge und des kostenminimalen Maschineneinsatzes entsprechend KTBL (2018, S. 253) eine insgesamt adäquate Wahl darstellt. Wie Tabelle 94 zeigt, führt ohne Windauflage $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ am häufigsten, aber mit Windauflage nur noch am zweit häufigsten zur kostengünstigsten Aussaat. Insgesamt zeigt sich bei den Mechanisierungsalternativen $M_{\text{raf}} Q(0,40)$, $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ und $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ mit Windauflage eine erhöhte Häufigkeit, dass diese Mechanisierungsalternativen zur kostengünstigsten Aussaat führen. Das bedeutet, dass sich das Optimum in Richtung risikoaffinerer Mechanisierungsalternativen mit weniger Maschinen verschiebt. Bei $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ zeigt sich mit Windauflage das Gegenteil: Hier sinkt die Häufigkeit der Optimalität von 31 mal ohne Windauflage auf 17 mal mit Windauflage.

Damit kann der Hypothese 6, nach der die Windauflage risikoaverserer Mechanisierungsalternativen bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (Überkapazitäten) begünstigt, nicht zugestimmt werden. Vielmehr zeigt sich auch hier das Gegenteil der ursprünglich aufgestellten Hypothese.

Die Begründung dafür, dass die Windauflage entgegen der Vermutung die risikoaverseren Mechanisierungsalternativen nicht begünstigt, wird im Folgenden beispielhaft anhand der Sommergerste (wendend) für einen großen Betrieb in Boltenhagen erläutert. Darüber hinaus erfolgt durch das Beispiel eine Erklärung für die entgegengesetzten Pfeile in einer Zeile in Tabelle 91 bis Tabelle 93.

Tabelle 97 zeigt den Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$) für die Sommergerste (wendend) für einen großen Betrieb in Boltenhagen für die Mechanisierungsalternativen ohne und mit Windauflage für das 100 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil. Während für die Situation ohne Windauflage $M_{rav} Q(0,10)$ mit 53,25 €/ha zur günstigsten Aussaat führt, ist dies für die Situation mit Windauflage mit 95,09 €/ha für $M_{mrav} Q(0,20)$ der Fall.

Tabelle 97: Aussaatkosten und Streuungsmaß der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Sommergerste (wendend) in Boltenhagen mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

	Aussaatkosten (€/ha) ohne Windauflage				Aussaatkosten (€/ha) mit Windauflage				
	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mraV} Q(0,20)	M _{raV} Q(0,10)	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mraV} Q(0,20)	M _{raV} Q(0,10)	
ex-ante festgelegte Maschinenanzahl Q(1-p)	4	5	7	8	11	11	14	22	Gewichtungs- faktoren
100%	443,62	409,34	340,77	306,48	486,09	486,09	460,27	391,42	0,025
95%	405,30	361,44	273,71	229,84	344,86	344,86	280,52	108,96	0,05
90%	212,91	120,95	42,41	36,86	330,74	330,74	262,55	96,12	0,05
85%	163,09	73,05	42,41	36,86	203,63	203,63	100,77	96,12	0,05
80%	84,91	56,75	32,63	36,86	81,50	81,50	62,91	96,12	0,05
75%	65,56	44,53	32,63	36,86	52,82	52,82	62,26	96,12	0,05
70%	45,35	24,16	32,63	36,86	52,82	52,82	62,26	96,12	0,05
65%	19,93	24,16	32,63	36,86	52,82	52,82	62,26	96,12	0,05
60%	19,93	24,16	32,63	36,86	52,82	52,82	62,26	96,12	0,05
55%	19,93	24,16	32,63	36,86	52,82	52,82	62,26	96,12	0,05
50%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,05
45%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,05
40%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,05
35%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,05
30%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,05
25%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,05
20%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,05
15%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,05
10%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,05
5%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,05
0%	19,93	24,16	32,63	36,86	49,56	49,56	62,26	96,12	0,025
E(K) (€/ha)	73,40	60,59	53,36	53,25	99,41	99,41	95,09	104,14	
D10_90 (€/ha)	192,98	96,78	9,78	0,00	281,18	281,18	200,29	0,00	

Q = Quantil, p = Wahrscheinlichkeit, E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mraV} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{raV} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

Abbildung 18 zeigt die Verteilungsfunktion der Aussaatkosten vom 100 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil der Mechanisierungsalternativen $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ und $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ bei gegebener ex ante festgelegter Maschinenanzahl sowohl ohne als auch mit Windauflage. Es wird hier ersichtlich, dass ohne Windauflage $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ durch den Einsatz einer zusätzlichen Maschine vom 100 %-Quantil bis zum 85 %-Quantil günstiger ist als $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$. Ab dem 85 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil ist $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ mit 32,63 €/ha günstiger als $M_{\text{mrav}} Q(0,10)$ mit 36,86 €/ha (durchgezogene Linien). Mit Windauflage ist $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ durch den Einsatz 8 zusätzlicher Maschinen verglichen mit $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ ebenfalls vom 100 %-Quantil bis zum 85 %-Quantil günstiger ist als $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$. Auch hier ist ab dem 85 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ mit 62,26 €/ha günstiger als $M_{\text{mrav}} Q(0,10)$ mit 96,12 €/ha (gestrichelte Linien). Grundsätzlich sind die Verläufe der Mechanisierungsalternativen ohne und mit Windauflage ähnlich. Der entscheidende Unterschied liegt auf dem Niveau der Kurven.

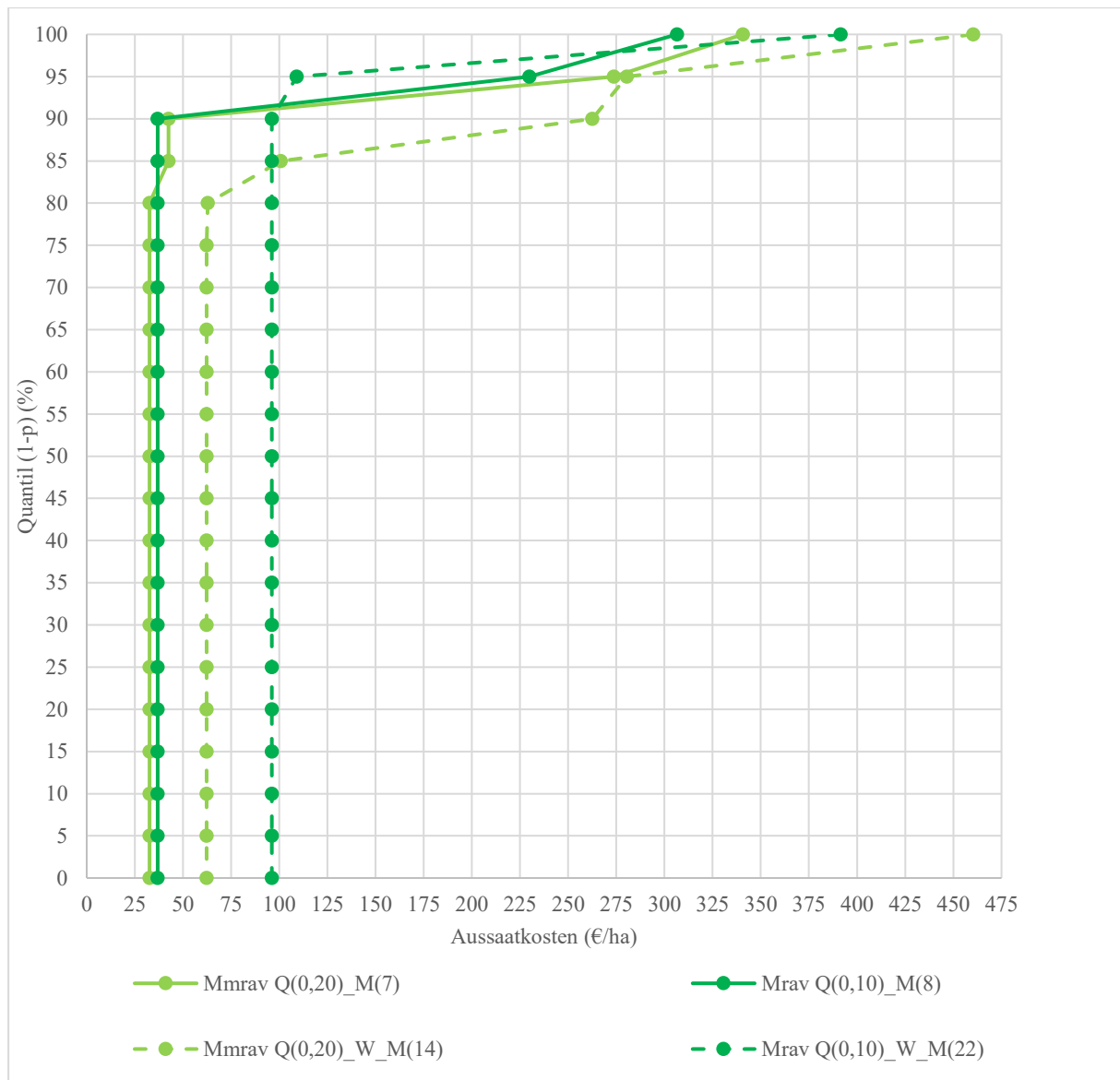


Abbildung 18: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen großen Betrieb für Sommergerste in Boltenhagen (wendend) ohne und mit Windauflage (W) [$M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)

Ohne Windauflage liegen $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{mrav} Q(0,10)$ deutlich näher beieinander, sodass der Kostenvorteil von $M_{rav} Q(0,10)$ in den obersten Quantilen größer ist als der Kostennachteil bei den restlichen Quantilen. Mit Windauflage reicht der Kostenvorteil von $M_{rav} Q(0,10)$ in den obersten Quantilen nicht mehr aus, um den Kostennachteil in den restlichen Quantilen auszugleichen.

Somit begünstigt die Windauflage entgegen der Vermutung die risikoaverseren Mechanisierungsalternativen nur bis $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$. Bei $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ führt dies zu einem höheren Erwartungswert der Aussaatkosten im Vergleich zu $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$. Dies zeigt sich unter anderem durch die entgegengesetzten Pfeile in einer Zeile der Spalte "Steigende Risikoaversion" (Erwartungswert der Aussaatkosten steigt mit steigender Risikoaversion ($\uparrow$); Erwartungswert der Aussaatkosten sinkt mit steigender Risikoaversion ($\downarrow$)) in Tabelle 91 bis Tabelle 93. Das Vorhandensein von entgegengesetzten Pfeilen in einer Zeile lässt darauf schließen, dass ein nichtmonotoner Zusammenhang vorliegt. Dieser führt in einem Bereich zu einer Erhöhung und in einem anderen Bereich zu einer Senkung der Aussaatkosten sowie des Erwartungswerts der Aussaatkosten bei steigender Risikoaversion.

5.4.3 Nochmalige Überprüfung von Hypothese 2

Während bei der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes die Windauflage in Teterow und Boltenhagen zu höheren und in Gießen zu höheren oder gleichbleibenden Aussaatkosten führt und somit der Hypothese 2 zugestimmt werden kann, zeigen sich bei den Ergebnissen der Risikoanalyse paradoxerweise Varianten, für die das Gegenteil der Hypothese 2 gilt: Hier führt die Windauflage zu niedrigeren Aussaatkosten. Entscheidend bei der Bewertung dieses Umstands ist, den Unterschied zwischen den Aussaatkosten und dem Erwartungswert der Aussaatkosten zu bedenken. Während bei den Aussaatkosten der kostenminimale Maschineneinsatz zur Aussaat für 1000 ha anhand der Feldarbeitstage (FAT), die in 80 % aller Jahre ohne und mit Windauflage mindestens zur Verfügung stehen, berechnet wird, erfolgt die Berechnung des Erwartungswertes der Aussaatkosten für eine Mechanisierungsalternative über die Berechnung der Aussaatkosten aller Quantile bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl.

Für 53 der 60 Varianten der Risikoanalyse kann der Hypothese 2, nach der die Windauflage zu höheren Aussaatkosten (hier höherem Erwartungswert der Aussaatkosten) insbesondere in windreichen Stationen führt, grundsätzlich zugestimmt werden.

Tabelle 98 zeigt die 7 Varianten, bei denen der Erwartungswert der Aussaatkosten entgegen der Vermutung mit Windauflage sinkt. Da dies nicht für alle Mechanisierungsalternativen zutrifft, sind die zutreffenden Mechanisierungsalternativen mit einem "x" markiert. Hier zeigt sich, dass nur die Sommergerste und die Zuckerrübe in Gießen betroffen sind.

Tabelle 98: Varianten, bei denen der Erwartungswert der Aussaatkosten mit Windauflage sinkt (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Anbauverfahren, Betriebstyp	Standort	$M_{raf} Q(0,40)$	$M_{mraf} Q(0,30)$	$M_{mrav} Q(0,20)$	$M_{rav} Q(0,10)$
Sommergerste, wendend, klein	Gießen	x		x	x
Sommergerste, nichtwendend, klein	Gießen			x	
Sommergerste, nichtwendend, groß	Gießen	x	x		
Zuckerrübe, wendend, klein	Gießen	x			
Zuckerrübe, wendend, groß	Gießen	x			
Zuckerrübe, nichtwendend, klein	Gießen	x			
Zuckerrübe, nichtwendend, groß	Gießen	x			

Q = Quantil

x = Erwartungswert der Aussaatkosten sinkt mit Windauflage

$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung

$M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung

Bei Varianten, bei denen der Erwartungswert der Aussaatkosten mit Windauflage sinkt, zeigen sich die größten Unterschiede zwischen dem Erwartungswert der Aussaatkosten mit und ohne Windauflage bei den risikoaffinen Mechanisierungsalternativen. Der größte Unterschied aller Varianten beträgt lediglich 5,34 €/ha für die Zuckerrübe beim kleinen Betrieb in Gießen bei $M_{raf} Q(0,40)$ sowohl für das wendende als auch für das nichtwendende Anbauverfahren, was vergleichsweise gering ist (vgl. Tabelle 82 und Tabelle 83).

Im Allgemeinen führt eine Erhöhung der Anzahl der Maschinen durch die Windauflage zu einem Anstieg des Erwartungswertes der Aussaatkosten. Die Methode zur Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes und des dazugehörigen Erwartungswertes der Aussaatkosten für die Risikoanalyse (siehe Kapitel 3.14) führt jedoch teilweise zu augenscheinlich paradoxen Ergebnissen für die Sommergerste und die Zuckerrübe in Gießen, bei denen der Erwartungswert der Aussaatkosten ohne Windauflage höher als der Erwartungswert der Aussaatkosten mit Windauflage ist. Als Beispiel zur Erläuterung wird das Ergebnis für $M_{raf} Q(0,40)$ für das wendende Anbauverfahren des kleinen Betriebs in Gießen für Sommergerste genommen.

Tabelle 99 und Abbildung 19 zeigen die kumulative Dichtefunktion der Aussaatkosten basierend auf der diskret berechneten Verteilungsfunktion bei einer festgelegten ex-ante Maschinenanzahl (ohne Windauflage: 5 Maschinen; mit Windauflage: 6 Maschinen). Es wird ersichtlich, dass $M_{raf} Q(0,40)$ mit Windauflage nur vom 100 %-Quantil bis zum 65 %-Quantil günstiger ist als ohne Windauflage. Die Erklärung hierfür liegt darin, dass die Differenz der FAT ohne und mit Windauflage in Gießen generell und für die Sommergerste sowie die Zuckerrübe im Speziellen äußerst gering ist. Daher führt in dem hier betrachteten Fall die höhere Mechanisierung vom 100 %-Quantil bis zum 65 %-Quantil, in denen die Anzahl an FAT geringer ist und Ertragsverluste eine Rolle spielen, zu einem Kostenvorteil. Erst ab dem 60 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil, in denen die Anzahl der FAT höher ist und Ertragsverluste keine Rolle spielen, liegt der Kostenvorteil wie erwartet bei $M_{raf} Q(0,40)$ ohne Windauflage. Insgesamt ist also der (gewichtete) Erwartungswert der Aussaatkosten für $M_{raf} Q(0,40)$ mit Windauflage (29,82 €/ha) günstiger als ohne Windauflage (33,66 €/ha).

Tabelle 99: Aussaatkosten für risikoaffine Mechanisierung $M_{raf} Q(0,40)$ bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ohne und mit Windauflage nach Quantilen für Sommergerste (wendend) in Gießen (kleiner Betrieb) (Quelle: Eigene Berechnung)

Q(1-p)	$M_{raf} Q(0,40)_M(5)$	$M_{raf} Q(0,40)_W_M(6)$	Gewichtungs- faktoren
100%	313,52	289,30	0,025
95%	205,57	168,46	0,05
90%	104,87	103,69	0,05
85%	38,72	24,50	0,05
80%	31,48	24,50	0,05
75%	16,99	11,47	0,05
70%	9,75	8,21	0,05
65%	9,75	8,21	0,05
60%	7,94	8,21	0,05
55%	7,94	8,21	0,05
50%	7,94	8,21	0,05
45%	7,94	8,21	0,05
40%	7,94	8,21	0,05
35%	7,94	8,21	0,05
30%	7,94	8,21	0,05
25%	7,94	8,21	0,05
20%	7,94	8,21	0,05
15%	7,94	8,21	0,05
10%	7,94	8,21	0,05
5%	7,94	8,21	0,05
0%	7,94	8,21	0,025
E(K) (€/ha)	33,66	29,82	

Q = Quantil, p = Wahrscheinlichkeit

$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung

E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

M() = kostenminimale Maschinenanzahl

W = Windauflage

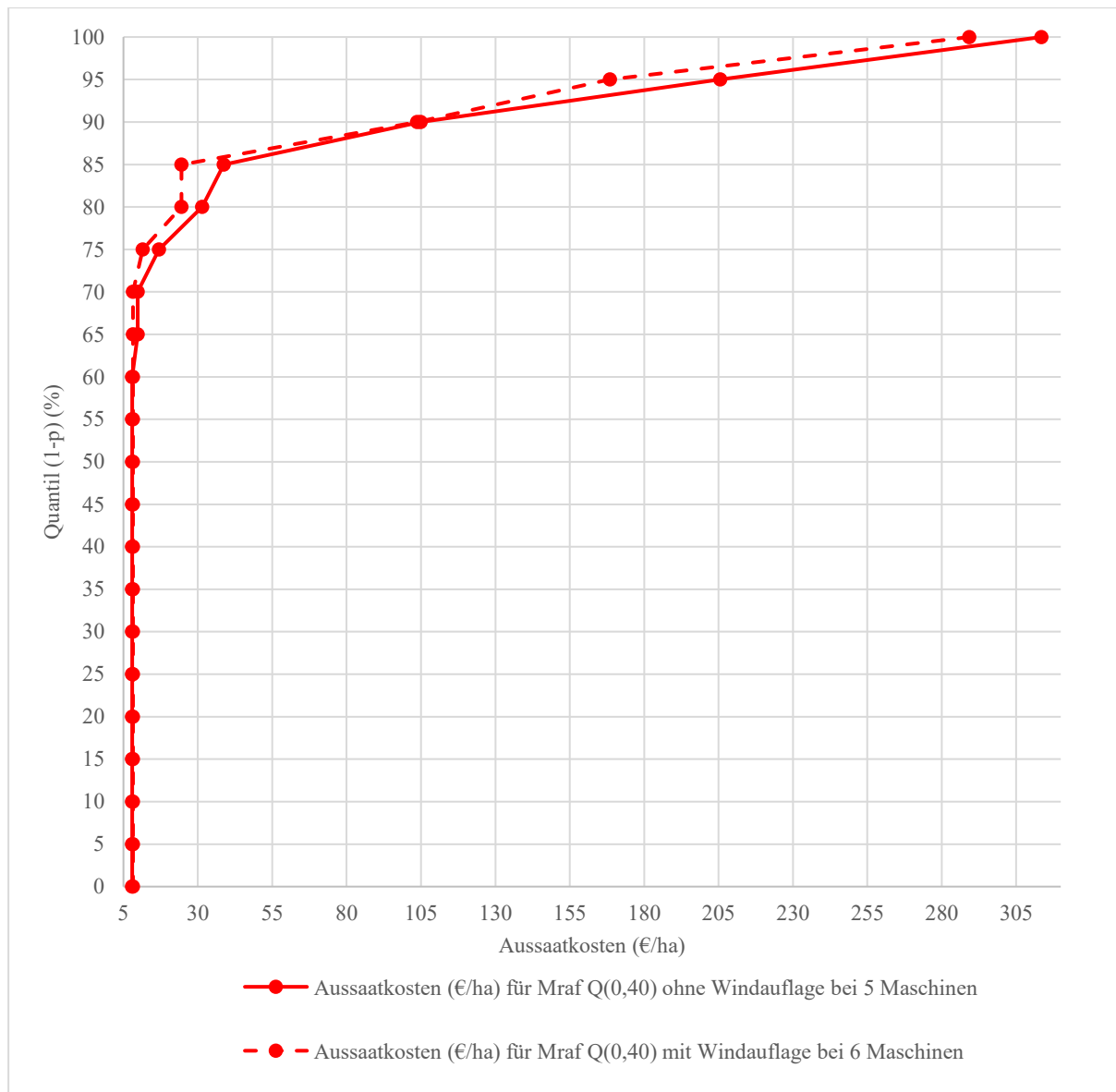


Abbildung 19: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten für risikoaffine Mechanisierung $M_{raf} Q(0,40)$ bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ohne und mit Windauflage nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für Sommergerste (wendend) in Gießen (kleiner Betrieb) (Quelle: Eigene Berechnung)

Für Teterow und Boltenhagen existieren keine solchen augenscheinlich paradoxen Ergebnisse, da sich hier im Gegensatz zu Gießen die Anzahl der FAT ohne und mit Windauflage deutlich unterscheidet. Für das 100 %-Quantil stehen in der Regel überhaupt keine FAT und für die hochprozentigeren Quantile, insbesondere mit Windauflage, nur wenige FAT zur Verfügung. Stehen zum Beispiel 0 FAT mit 100 % Wahrscheinlichkeit zur Verfügung, so ist die Mechanisierungsalternative mit Windauflage für das 100 %-Quantil immer ungünstiger, da bei gleichem

Ertragsverlust wie bei der Mechanisierungsalternative ohne Windauflage die Maschinenanzahl höher ist.

Der entscheidende Grund, warum bei der Risikoanalyse diese wenigen paradoxen Ergebnisse auftreten, die bei der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes nicht vorkommen, liegt darin, dass bei der Risikoanalyse der Erwartungswert der Aussaatkosten durch die Berechnung der Aussaatkosten aller Quantile vom 0 %-Quantil bis zum 100 %-Quantil bei einer vorab festgelegten Maschinenanzahl (ex-ante) ermittelt wird, während bei der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes nur die Aussaatkosten für das 80 %-Quantil berücksichtigt werden.

5.4.4 Hypothese 7

In Tabelle 100 und Tabelle 101 sind die Ergebnisse der Kombination aus 4 Anbaukulturen, 3 Stationen, 3 beziehungsweise 2 Anbauverfahren sowie 2 Betriebstypen dargestellt. Dabei ergeben sich insgesamt 60 Varianten. Bei Mais und Zuckerrübe wurde auf die Unterscheidung nach Anbauverfahren verzichtet, da die Ergebnisse in diesem Fall identisch sind. In den Spalten der verschiedenen Mechanisierungsalternativen ist dargestellt, ob die Windauflage zu einem erhöhten Streuungsmaß der Aussaatkosten führt, also ob Hypothese 7 gilt.

Die Mechanisierungsalternativen, für die Hypothese 7 gilt, sind mit einem "✓" gekennzeichnet. Alternativ sind Mechanisierungsalternativen, bei denen die Windauflage zu einem niedrigeren Streuungsmaß der Aussaatkosten führt, mit einem "x" gekennzeichnet und solche, bei denen die Windauflage zu keinen Veränderungen bezüglich des Streuungsmaßes der Aussaatkosten führt, sind mit einem "-" markiert.

Tabelle 100 und Tabelle 101 verdeutlichen, dass Hypothese 7 in 29 Varianten für sämtliche Mechanisierungsalternativen zutrifft. In 2 Varianten (großer Betrieb, Gießen, Mais) zeigen sich keine Veränderungen hinsichtlich des Streuungsmaßes der Aussaatkosten durch die Windauflage. Eine Ausnahme bildet eine Variante, bei der das Gegenteil von Hypothese 7 festzustellen ist (großer Betrieb, Gießen, Sommergerste, nichtwendend). Die verbleibenden 28 Varianten offenbaren Unterschiede zwischen den einzelnen Mechanisierungsalternativen.

Varianten, für die Hypothese 7 gilt

Hypothese 7, die insgesamt in 29 Varianten zutrifft, zeigt sich vor allem in Teterow in 15 Fällen und in Boltenhagen in 10 Fällen, während sie in Gießen lediglich in 4 Fällen zutrifft. Bei den Anbaukulturen tritt Hypothese 7 am häufigsten beim Winterweizen in 12 Fällen auf, gefolgt vom Mais in 8 Fällen, der Sommergerste in 5 Fällen und der Zuckerrübe in 4 Fällen. Hinsichtlich der Anbauverfahren zeigt sich Hypothese 7 am häufigsten beim wendenden Anbauverfahren in 12 Fällen, gefolgt vom nichtwendenden Anbauverfahren in 10 Fällen und dem direkten Anbauverfahren (Direktsaat) in 7 Fällen. Insgesamt trifft Hypothese 7 eher auf große Betriebe zu (in 17 Fällen), während sie bei kleinen Betrieben nur in 12 Fällen zutrifft.

Varianten mit Mechanisierungsalternativen, für die das Gegenteil für Hypothese 7 gilt

In den 28 Varianten, bei denen Unterschiede bezüglich der Hypothese 7 bei den einzelnen Mechanisierungsalternativen auftreten, zeigen sich diese vor allem in Gießen in 13 Fällen und Boltenhagen in 10 Fällen, gefolgt von Teterow in 5 Fällen. Bei den Anbaukulturen zeigt sich, dass die Sommergerste mit 12 Fällen am häufigsten vertreten ist, gefolgt von der Zuckerrübe mit 8 Fällen, dem Winterweizen mit 6 Fällen und dem Mais mit 2 Fällen. Hinsichtlich der Anbauverfahren zeigt sich, dass das nichtwendende Anbauverfahren mit 12 Fällen am stärksten betroffen ist, gefolgt vom wendenden Anbauverfahren mit 11 Fällen. Das direkte Anbauverfahren kommt mit 5 Fällen vor. Insgesamt zeigt sich das Gegenteil von Hypothese 7 eher bei kleinen Betrieben (18 Fälle) als bei großen Betrieben (10 Fälle).

Tabelle 100: Zusammenfassende Übersicht zur Auswirkung der Windauflage auf das Streuungsmaß (D10_90), Teil 1 (Winterweizen und Sommergerste) von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Anbauverfahren, Betriebstyp	Standort	$M_{raf} Q(0,40)$	$M_{mraf} Q(0,30)$	$M_{mrav} Q(0,20)$	$M_{rav} Q(0,10)$
Winterweizen, wendend, klein	Gießen	x	x	✓	✓
Winterweizen, wendend, groß	Gießen	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, wendend, klein	Teterow	✓	✓	✓	x
Winterweizen, wendend, groß	Teterow	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, wendend, klein	Boltenhagen	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, wendend, groß	Boltenhagen	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, nichtwendend, klein	Gießen	x	✓	✓	x
Winterweizen, nichtwendend, groß	Gießen	✓	-	-	-
Winterweizen, nichtwendend, klein	Teterow	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, nichtwendend, groß	Teterow	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, nichtwendend, klein	Boltenhagen	✓	✓	✓	x
Winterweizen, nichtwendend, groß	Boltenhagen	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, Direktsaat, klein	Gießen	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, Direktsaat, groß	Gießen	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, Direktsaat, klein	Teterow	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, Direktsaat, groß	Teterow	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, Direktsaat, klein	Boltenhagen	✓	✓	✓	✓
Winterweizen, Direktsaat, groß	Boltenhagen	✓	x	x	x
Sommergerste, wendend, klein	Gießen	x	✓	✓	-
Sommergerste, wendend, groß	Gießen	✓	✓	✓	✓
Sommergerste, wendend, klein	Teterow	✓	✓	✓	-
Sommergerste, wendend, groß	Teterow	✓	✓	✓	✓
Sommergerste, wendend, klein	Boltenhagen	✓	✓	✓	-
Sommergerste, wendend, groß	Boltenhagen	✓	✓	✓	-
Sommergerste, nichtwendend, klein	Gießen	✓	✓	x	-
Sommergerste, nichtwendend, groß	Gießen	x	x	x	x
Sommergerste, nichtwendend, klein	Teterow	✓	✓	✓	-
Sommergerste, nichtwendend, groß	Teterow	✓	✓	✓	✓
Sommergerste, nichtwendend, klein	Boltenhagen	✓	✓	✓	-
Sommergerste, nichtwendend, groß	Boltenhagen	✓	✓	✓	x
Sommergerste, Direktsaat, klein	Gießen	✓	✓	x	-
Sommergerste, Direktsaat, groß	Gießen	✓	✓	x	-
Sommergerste, Direktsaat, klein	Teterow	✓	✓	✓	✓
Sommergerste, Direktsaat, groß	Teterow	✓	✓	✓	✓
Sommergerste, Direktsaat, klein	Boltenhagen	✓	✓	✓	-
Sommergerste, Direktsaat, groß	Boltenhagen	✓	✓	✓	x

✓ = Windauflage erhöht das Streuungsmaß des Erwartungswerts der Aussaatkosten (Hypothese 5 gilt)

- = Windauflage hat keinen Einfluss auf das Streuungsmaß des Erwartungswerts der Aussaatkosten

x = Das Gegenteil von Hypothese 5 gilt

Q = Quantil

$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung

$M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung

Tabelle 101: Zusammenfassende Übersicht zur Auswirkung der Windauflage auf das Streuungsmaß (D10_90), Teil 2 (Mais und Zuckerrübe) von 2 (Quelle: Eigene Berechnung)

Anbaukultur, Betriebstyp	Standort	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)
Mais, klein	Gießen	x	-	-	-
Mais, groß	Gießen	-	-	-	-
Mais, klein	Teterow	✓	✓	✓	✓
Mais, groß	Teterow	✓	✓	✓	✓
Mais, klein	Boltenhagen	✓	✓	✓	✓
Mais, groß	Boltenhagen	✓	✓	✓	✓
Zuckerrübe, klein	Gießen	x	✓	✓	-
Zuckerrübe, groß	Gießen	x	✓	✓	-
Zuckerrübe, klein	Teterow	✓	✓	✓	✓
Zuckerrübe, groß	Teterow	✓	✓	✓	x
Zuckerrübe, klein	Boltenhagen	x	-	✓	✓
Zuckerrübe, groß	Boltenhagen	✓	✓	✓	✓
Summe (✓)		46	50	50	32
Summe (-)		12	3	5	9
Summe (x)		2	7	5	19

✓ = Windauflage erhöht das Streuungsmaß des Erwartungswerts der Aussaatkosten (Hypothese 7 gilt)

- = Windauflage hat keinen Einfluss auf das Streuungsmaß des Erwartungswerts der Aussaatkosten

x = Das Gegenteil von Hypothese 7 gilt

Q = Quantil

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

Die Summen () ergeben sich jeweils aus beiden Teilen der Tabellen 100 und 101, wobei bei Mais und Zuckerrübe die Summen doppelt gezählt werden, da beide Anbauvarianten identisch sind.

Das Streuungsmaß steigt durch die Windauflage am häufigsten bei M_{mraf} Q(0,30) und M_{mrav} Q(0,20) jeweils in 50 Fällen. Darauf folgen M_{raf} Q(0,40) mit 46 Fällen und M_{rav} Q(0,10) mit 32 Fällen. Ein Rückgang des Streuungsmaßes durch die Windauflage tritt mit 19 Fällen am häufigsten bei M_{rav} Q(0,10) auf. Es folgen M_{mraf} Q(0,30) mit 7 Fällen, M_{mrav} Q(0,20) mit 5 Fällen und M_{raf} Q(0,40) mit 2 Fällen. Keine Veränderung des Streuungsmaßes des Erwartungswerts der Aussaatkosten durch die Windauflage tritt mit 12 Fällen am häufigsten bei M_{raf} Q(0,40) auf. Darauf folgen M_{rav} Q(0,10) mit 9 Fällen, M_{mrav} Q(0,20) mit 5 Fällen und M_{mraf} Q(0,30) mit 3 Fällen.

Erklärung, wann das Gegenteil für Hypothese 7 gilt

Die Windauflage führt dazu, dass mehr Maschinen als optimal betrachtet werden (aufgrund der Durchschnittskosten). Dies hat den Nebeneffekt, dass (leichte) Überkapazitäten geschaffen werden, die zu weniger Ertragsverlusten führen. In den Fällen, wo die Windauflage nicht zu zusätzlichen Maschinen führt, kann dieser Effekt nicht auftreten, da die Windauflage die

Wahrscheinlichkeit von Ertragsverlusten erhöht. Es ist also vor allem der Einsatz zusätzlicher Maschinen in der Situation mit Windauflage im Vergleich zur Situation ohne Windauflage, der maßgeblich ist für die Mechanisierungsalternativen, bei denen das Gegenteil von Hypothese 7 gilt. Dies wird im Folgenden am Beispiel des wendenden Anbauverfahrens des Winterweizens in einem kleinen Betrieb in Gießen anhand einer Tabelle und Abbildungen erläutert. Tabelle 102 zeigt den Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$) sowie das Streuungsmaß (D_{10_90}) für die Mechanisierungsalternativen ohne und mit Windauflage. Im vorliegenden Beispiel zeigt sich, dass das Streuungsmaß mit zunehmender Risikoaversion sinkt beziehungsweise gleichbleibt und mit Windauflage für $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{rav} Q(0,10)$ größer ist als ohne Windauflage ($0,52 \text{ €/ha} > 0,00 \text{ €/ha}$). Für $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ hingegen ist das Streuungsmaß mit Windauflage mit jeweils $0,52 \text{ €/ha}$ leicht niedriger als ohne Windauflage mit $1,80 \text{ €/ha}$. Der Erwartungswert der Aussaatkosten und die Maschinenanzahl betragen hierbei jeweils $9,01 \text{ €/ha}$ und 6 Maschinen ohne Windauflage und $9,47 \text{ €/ha}$ und 7 Maschinen mit Windauflage.

Tabelle 102: Aussaatkosten und Streuungsmaß der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Winterweizen (wendend) in Gießen mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

	Aussaatkosten (€/ha) ohne Windauflage				Aussaatkosten (€/ha) mit Windauflage				
	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mraV} Q(0,20)	M _{raV} Q(0,10)	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mraV} Q(0,20)	M _{raV} Q(0,10)	
ex-ante festgelegte Maschinenanzahl Q(1-p)	6	6	7	7	7	7	7	7	Gewichtungs- faktoren
100%	24,13	24,13	22,63	22,63	22,63	22,63	22,63	22,63	0,025
95%	11,94	11,94	10,63	10,63	11,19	11,19	11,19	11,19	0,05
90%	10,01	10,01	8,99	8,99	9,51	9,51	9,51	9,51	0,05
85%	9,53	9,53	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
80%	9,05	9,05	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
75%	8,57	8,57	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
70%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
65%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
60%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
55%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
50%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
45%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
40%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
35%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
30%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
25%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
20%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
15%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
10%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
5%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,05
0%	8,21	8,21	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	0,025
E(K) (€/ha)	9,01	9,01	9,41	9,41	9,47	9,47	9,47	9,47	
D10_90 (€/ha)	1,80	1,80	0,00	0,00	0,52	0,52	0,52	0,52	

Q = Quantil, p = Wahrscheinlichkeit, E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mraV} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{raV} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen die Verteilungsfunktionen der Aussaatkosten für das 100 %-Quantil bis zum 0 %-Quantil für die Mechanisierungsalternativen $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{rav} Q(0,10)$ bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl sowohl ohne als auch mit Windauflage. Wie aus Tabelle 102, Abbildung 20 und Abbildung 21 hervorgeht, betragen die Aussaatkosten ohne Windauflage für $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ mit jeweils 6 Maschinen vom 0 %-Quantil bis zum 70 %-Quantil gleichbleibend 8,21 €/ha. Der Wert steigt auf 10,01 €/ha im 90 %-Quantil, was zu einem Streuungsmaß von 1,80 €/ha führt. Für $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{rav} Q(0,10)$ mit jeweils 7 Maschinen sind die Aussaatkosten mit 8,99 €/ha vom 0 %-Quantil bis zum 90 %-Quantil gleich, sodass das Streuungsmaß hier 0,00 €/ha beträgt. Es zeigt sich, dass der Einsatz einer zusätzlichen Maschine zu einem höheren Erwartungswert der Aussaatkosten führt (9,41 €/ha > 9,01 €/ha), gleichzeitig jedoch das Streuungsmaß verringert wird.

Für $M_{mrav} Q(0,20)$ und $M_{rav} Q(0,10)$ beträgt die Maschinenanzahl mit Windauflage ebenfalls 7. Es zeigt sich jedoch, dass die Windauflage zu einer grundlegenden Verschiebung der Aussaatkosten führt. Dadurch steigt das Streuungsmaß grundlegend von 0,00 €/ha ohne Windauflage auf 0,52 €/ha mit Windauflage an. Mit Windauflage sind die Aussaatkosten hier mit 8,99 €/ha nur noch vom 0 %-Quantil bis zum 85 %-Quantil gleich.

Für $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ steigt die Maschinenanzahl mit Windauflage auf 7 an. Auch hier kommt es zu einer grundlegenden Verschiebung, das heißt zu einer Steigerung der Aussaatkosten. Ohne Windauflage sind die Aussaatkosten mit 8,21 €/ha vom 0 %-Quantil bis zum 70 %-Quantil gleichbleibend. Mit Windauflage sind die Aussaatkosten durch die zusätzliche Maschine mit 8,99 €/ha vom 0 %-Quantil bis zum 85 %-Quantil für einen größeren Bereich gleichbleibend, sodass hier das Streuungsmaß trotz höherer Aussaatkosten insgesamt von 1,80 €/ha ohne Windauflage auf 0,52 €/ha mit Windauflage absinkt.

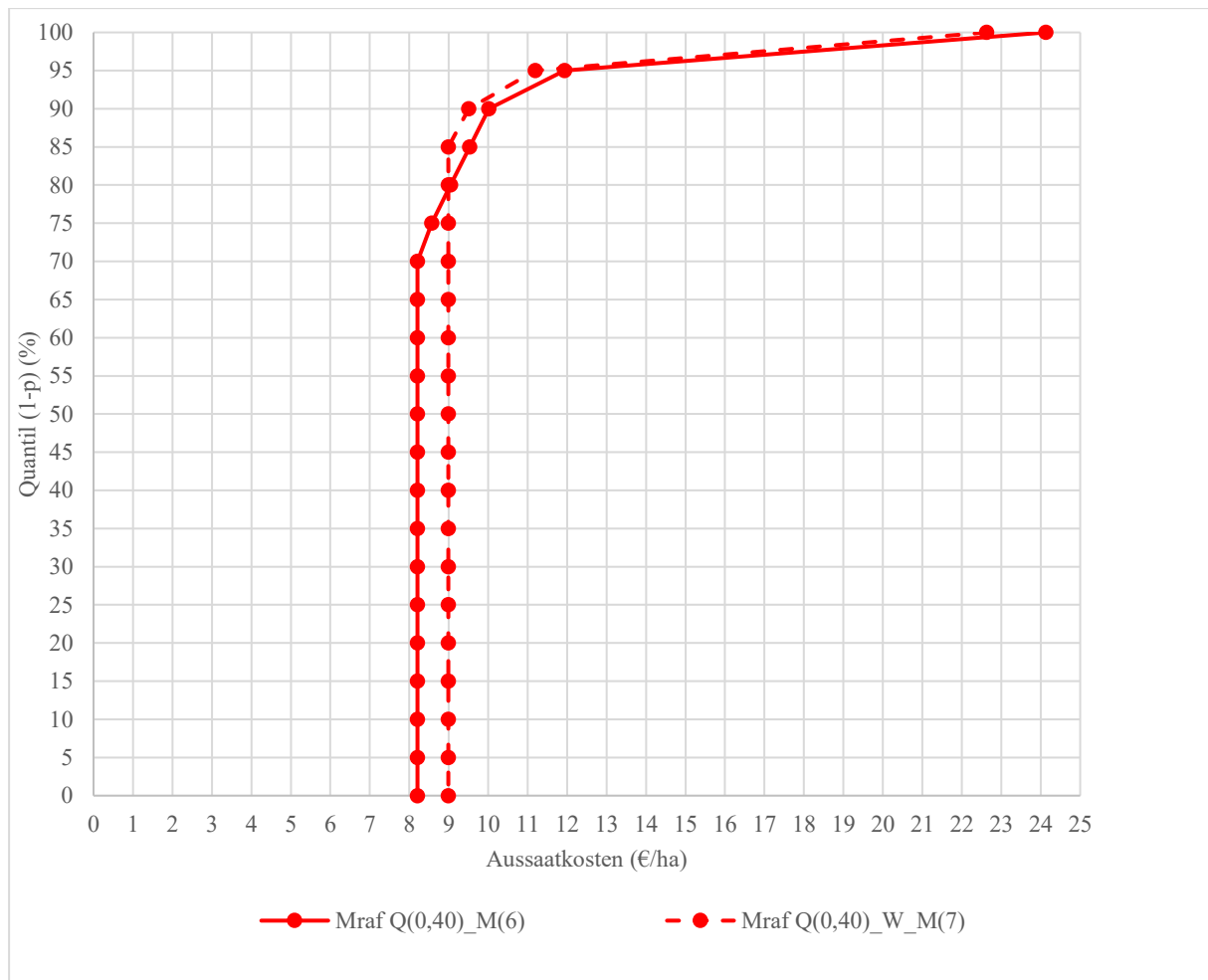


Abbildung 20: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Winterweizen in Gießen (wendend) ohne und mit Windauflage (W) [$M_{\text{raf}} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)

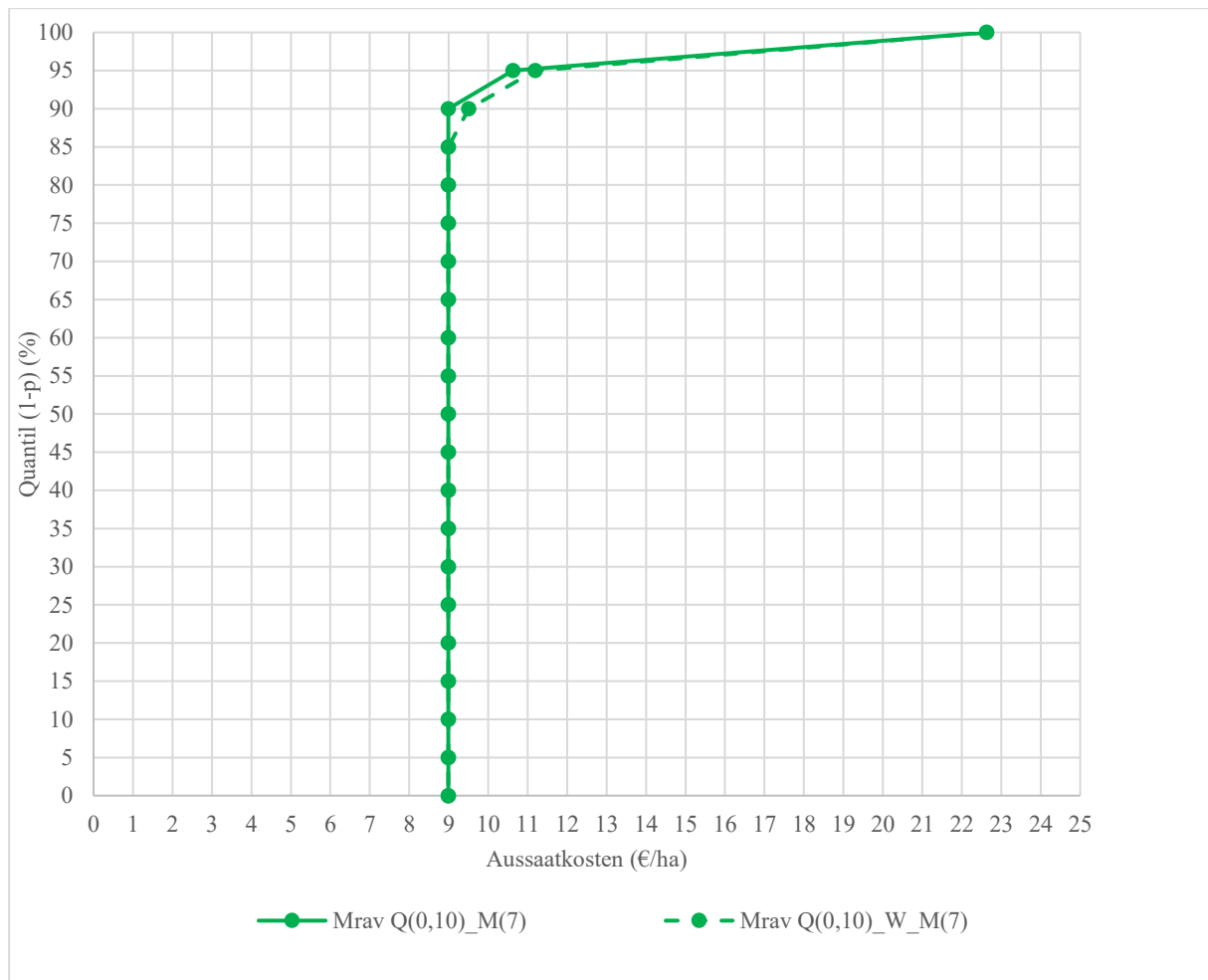


Abbildung 21: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl ($M()$) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Winterweizen in Gießen (wendend) ohne und mit Windauflage (W) [$M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)

Insgesamt kann festgehalten werden, dass Hypothese 7 für 29 Varianten gilt, während das Gegenteil nur bei einer Variante zutrifft. Bei den 28 Varianten, bei denen es unterschiedliche Ergebnisse für die einzelnen Mechanisierungsalternativen bezüglich Hypothese 7 gibt, überwiegen jedoch die Fälle, in denen Hypothese 7 gilt gegenüber jenen, in denen das Gegenteil der Fall ist, deutlich (siehe Tabelle 100 und Tabelle 101). Darüber hinaus wurden die Bedingungen festgestellt, unter denen das Gegenteil von Hypothese 7 gilt, **sodass Hypothese 7, nach der die Windauflage zu einem erhöhten Streuungsmaß der Aussaatkosten führt, im Wesentlichen durch die Ergebnisse bestätigt wird.**

5.4.5 Hypothese 8

Tabelle 103 bietet eine übersichtliche Zusammenfassung der Ergebnisse zur Hypothese 8, die besagt, dass eine risikoaversere Mechanisierung zu einem geringeren Streuungsmaß der Aussaatkosten führt. Die Tabelle präsentiert die kombinierten Daten von 4 Anbaukulturen, 3 Stationen sowie 3 beziehungsweise 2 Anbauverfahren und 2 Betriebstypen. Insgesamt gibt es, wie in der Zeile "Summe" ersichtlich, 60 Varianten. Die Tabelle beinhaltet jeweils die 4 Mechanisierungsalternativen für jede Variante sowohl ohne als auch mit Windauflage. Die Zeile "Anzahl ✓" gibt an, wie oft die risikoaversere Mechanisierungsalternative zu einem geringeren Streuungsmaß der Aussaatkosten geführt hat (Hypothese 8 gilt). Zeile "Anzahl x" zeigt, wie oft die risikoaversere Mechanisierungsalternative zu einem höheren Streuungsmaß der Aussaatkosten geführt hat (das Gegenteil der Hypothese 8). Die Zeile "Anzahl -" gibt an, in wie vielen Fällen die risikoaversere Mechanisierungsalternative zu keinen Veränderungen des Streuungsmaßes der Aussaatkosten geführt hat. Um die jeweiligen Anzahlen zu bestimmen, werden alle Mechanisierungsalternativen mit den jeweils risikoaverseren Mechanisierungsalternativen verglichen. Dies bedeutet, dass $M_{mraf} Q(0,30)$ mit $M_{raf} Q(0,40)$, $M_{mrav} Q(0,20)$ mit $M_{mraf} Q(0,30)$ und $M_{rav} Q(0,10)$ mit $M_{mrav} Q(0,20)$ verglichen wird. Da keine Mechanisierungsalternative vorhanden ist, die mit $M_{raf} Q(0,40)$ verglichen werden kann, bleibt die entsprechende Spalte in Tabelle 103 leer.

Tabelle 103: Zusammenfassende Übersicht aller 60 Varianten zur Hypothese 8 (Quelle: Eigene Berechnung)

	ohne Windauflage				mit Windauflage			
	$M_{raf} Q(0,40)$	$M_{mraf} Q(0,30)$	$M_{mrav} Q(0,20)$	$M_{rav} Q(0,10)$	$M_{raf} Q(0,40)$	$M_{mraf} Q(0,30)$	$M_{mrav} Q(0,20)$	$M_{rav} Q(0,10)$
Anzahl ✓		30	27	38		30	28	47
Anzahl -		30	33	22		28	31	13
Anzahl x		0	0	0		2	1	0
Summe		60	60	60		60	60	60

✓ = Risikoaversere Mechanisierung führt zu einer geringeren Streuung der Aussaatkosten (Hypothese 8 gilt)

- = Mechanisierung hat keinen Einfluss auf das Streuungsmaß des Erwartungswerts der Aussaatkosten

x = Das Gegenteil von Hypothese 8 gilt

Q = Quantil

$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung

$M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung

Tabelle 103 liefert ein eindeutiges Ergebnis zu Hypothese 8. Darüber hinaus wird in Kapitel 4.10 ersichtlich, dass in den Fällen, in denen das Streuungsmaß der Aussaatkosten zwischen unmittelbar risikoaverseren Mechanisierungsalternativen konstant bleibt, der Vergleich mit einer noch stärker risikoaversen Mechanisierungsalternative zu einem geringeren Streuungsmaß der Aussaatkosten führt. Ein Beispiel hierfür ist die Zuckerrübe (nichtwendend) für den kleinen Betrieb in Teterow (siehe Tabelle 83). Hier beträgt das Streuungsmaß der Aussaatkosten ($D10_{90}$) 48,30 €/ha für $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$, 7,41 €/ha für $M_{mrav} Q(0,20)$ und 0,78 €/ha für $M_{rav} Q(0,10)$.

Entsprechend dieser Ergebnisse kann der Hypothese 8 zugestimmt werden, nach der eine risikoaversere Mechanisierung zu einem geringeren Streuungsmaß der Aussaatkosten führt.

Beschreibung der Ausnahme, dass das Gegenteil von Hypothese 8 gilt

Entgegen der Erwartung gibt es jedoch einige Ausnahmen, die ausschließlich beim kleinen Betrieb in Boltenhagen mit Windauflage auftreten. Konkret handelt es sich dabei um die Sommergerste (Direktsaat) bei $M_{mrav} Q(0,20)$ (siehe Tabelle 79) sowie um den Mais (wendend und nichtwendend) bei jeweils $M_{mraf} Q(0,30)$ (siehe Tabelle 80 und Tabelle 81). Darüber hinaus weisen diese drei Varianten eine weitere Besonderheit auf: Die Anzahl der Maschinen steigt nicht mit steigender Risikoaversion, sondern sinkt. Im Gegensatz dazu steigt bei allen anderen Varianten die Anzahl der Maschinen mit steigender Risikoaversion an oder bleibt zumindest konstant. Im Folgenden werden diese unerwarteten und äußerst seltenen Effekte am Beispiel des wendenden Anbauverfahrens für Mais in einem kleinen Betrieb in Boltenhagen anhand von Tabellen und Abbildungen lediglich beschrieben, da es für diese keine abschließende Erklärung gibt. Die breiten Minima, bei denen sich die Aussaatkosten nur um Centbeträge unterscheiden können, lassen darauf schließen, dass es sich bei diesen Ergebnissen um mögliche Artefakte des Modellansatzes handeln könnte.

Tabelle 104 zeigt die Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen nach Anzahl der Sämaschinen für die verschiedenen Mechanisierungsalternativen. Die Anzahl der Sämaschinen, die zur kostenminimalen Aussaat bei den jeweiligen Mechanisierungsalternativen führt, ist ebenfalls angegeben. Die Anzahl der Maschinen in den Spalten steigt nach unten hin an. Die unter-

schiedlichen Kosten ergeben sich aus verschiedenen Risikoeinstellungen, denen unterschiedliche Quantile der Feldarbeitstage (FAT) zugrunde liegen. Dies führt bei gleicher Maschinenanzahl zu unterschiedlichen Ertragsverlusten und damit zu unterschiedlichen Aussaatkosten.

Für $M_{raf} Q(0,40)$ beträgt der kostenminimale Maschineneinsatz 36,02 €/ha bei 16 Maschinen, für $M_{mraf} Q(0,30)$ beträgt er 37,32 €/ha bei 13 Maschinen, für $M_{mrav} Q(0,20)$ beträgt er 37,41 €/ha bei 15 Maschinen und für $M_{rav} Q(0,10)$ beträgt er 38,73 €/ha bei 17 Maschinen. Obwohl die Anzahl der Maschinen, die zum kostenminimalen Maschineneinsatz führt, nicht stetig mit steigender Risikoaversion zunimmt, steigen die Aussaatkosten mit steigender Risikoaversion an. Bezüglich der Aussaatkosten gilt für den Bereich von 1 bis 20 Sämaschinen, dass $M_{rav} Q(0,10) \geq M_{mrav} Q(0,20) \geq M_{mraf} Q(0,30) \geq M_{raf} Q(0,40)$.

Tabelle 104: Aussaatkosten (€/ha) der Mechanisierungsalternativen nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für einen kleinen Betrieb für Mais (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Sämaschinen (n) für 1000 ha	$M_{raf} Q(0,40)_M(16)$	$M_{mraf} Q(0,30)_M(13)$	$M_{mrav} Q(0,20)_M(15)$	$M_{rav} Q(0,10)_M(17)$
1	546,75	556,69	562,56	572,41
2	470,01	489,89	501,62	521,32
3	393,26	423,08	440,69	470,23
4	316,52	356,28	379,75	419,15
5	239,78	289,47	318,81	368,06
6	163,03	222,67	257,87	316,97
7	106,20	155,86	196,94	265,88
8	89,18	104,99	136,00	214,79
9	72,16	89,94	106,92	163,71
10	55,15	74,90	93,76	112,62
11	38,13	59,86	80,61	101,35
12	36,20	44,82	67,45	90,08
13	36,15	37,32	54,29	78,81
14	36,11	37,37	41,14	67,54
15	36,06	37,41	37,41	56,27
16	36,02	37,46	37,46	45,00
17	37,20	38,73	38,73	38,73
18	38,39	40,01	40,01	40,01
19	39,58	41,29	41,29	41,29
20	40,77	42,57	42,57	42,57

$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung

$M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung

Q = Quantil, M() = kostenminimale Maschinenanzahl

Die Aussaatkosten bei der Risikoanalyse (ohne Schlepper- und Lohnkosten) setzen sich aus den Kosten für die Sämaschinen und den Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste zusammen. Es ist nicht zwingend gegeben, dass mit steigender Risikoaversion auch die Anzahl der Maschinen, die zum kostenminimalen Maschineneinsatz führt, ansteigt. Es kann sich auch als günstiger erweisen, anstatt einer zusätzlichen Maschine Ertragsverluste zu realisieren. Tabelle 105 und Abbildung 22 zeigen beispielhaft, wie sich die Gesamtkosten für die Mechanisierungsalternativen $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ und $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ zusammensetzen. Die Kosten für die Sämaschinen sind unabhängig von der Wahl der jeweiligen Mechanisierungsalternative, während nur die Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste zu unterschiedlichen Gesamtkosten zwischen den Mechanisierungsalternativen führen. Beispielsweise setzten sich die Aussaatkosten beim kostenminimalen Maschineneinsatz (16 Maschinen) für $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ in Höhe von 36,02 €/ha aus Kosten von 1,80 €/ha durch aussaatbedingte Ertragsverluste und 34,21 €/ha Kosten durch Sämaschinen zusammen. Für $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ betragen die Aussaatkosten beim kostenminimalen Maschineneinsatz (13 Maschinen) 37,32 €/ha, bestehend aus 4,32 €/ha Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste und 33,00 €/ha Kosten durch Sämaschinen.

Tabelle 105: Gesamte Aussaatkosten (€/ha), Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste (€/ha) und Kosten für Sämaschinen (€/ha) der Mechanisierungsalternativen $M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mraf} Q(0,30)$ nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für einen kleinen Betrieb für Mais (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Sämaschinen (n) für 1000 ha	$M_{raf} Q(0,40)_M(16)$		$M_{mraf} Q(0,30)_M(13)$		Sämaschinen- kosten
	Gesamtkosten	Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste	Gesamtkosten	Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste	
1	546,75	518,61	556,69	528,55	28,14
2	470,01	441,47	489,89	461,34	28,54
3	393,26	364,32	423,08	394,13	28,95
4	316,52	287,17	356,28	326,92	29,35
5	239,78	210,02	289,47	259,71	29,76
6	163,03	132,87	222,67	192,50	30,16
7	106,20	75,63	155,86	125,29	30,57
8	89,18	58,21	104,99	74,01	30,97
9	72,16	40,78	89,94	58,57	31,38
10	55,15	23,36	74,90	43,12	31,78
11	38,13	5,94	59,86	27,67	32,19
12	36,20	3,60	44,82	12,23	32,59
13	36,15	3,15	37,32	4,32	33,00
14	36,11	2,70	37,37	3,96	33,40
15	36,06	2,25	37,41	3,60	33,81
16	36,02	1,80	37,46	3,24	34,21
17	37,20	1,35	38,73	2,88	35,85
18	38,39	0,90	40,01	2,52	37,49
19	39,58	0,45	41,29	2,16	39,13
20	40,77	0,00	42,57	1,80	40,77

$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung

$M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung

Q = Quantil, M() = kostenminimale Maschinenanzahl

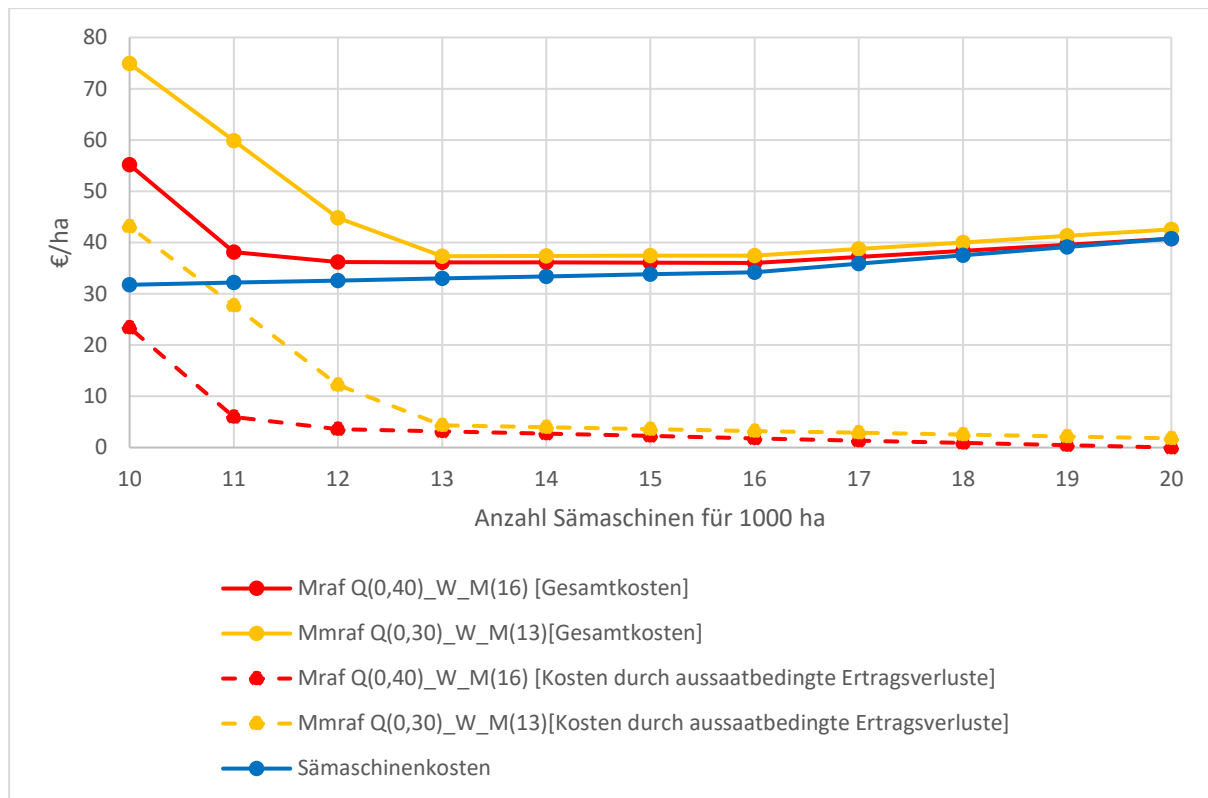


Abbildung 22: Verlauf der gesamten Aussaatkosten (ohne Schlepper- und Lohnkosten), der Kosten durch aussaatbedingte Ertragsverluste und der Kosten für die Sämaschinen für 1000 ha für den kleinen Betrieb mit Mais (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (W) für $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung und $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung [$M()$ = Anzahl Maschinen die zum kostenminimaler Maschineneinsatz führt, Q = Quantil] (Quelle: Eigene Berechnung)

Tabelle 106 zeigt den Erwartungswert der Aussaatkosten sowie das Streuungsmaß für die Mechanisierungsalternativen ohne und mit Windauflage, wobei in diesem Fall nur die Mechanisierungsalternativen mit Windauflage von Belang sind. Der Erwartungswert der Aussaatkosten und das Streuungsmaß werden durch die Berechnung der Kosten für die Aussaat aller Quantile bei einer vorab festgelegten Maschinenanzahl (ex-ante) ermittelt. Entgegen der Erwartung sinkt die Maschinenanzahl von $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ zu $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ von 16 auf 13, sodass der Erwartungswert der Aussaatkosten und das Streuungsmaß von $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ mit 50,37 €/ha und 45,81 €/ha höher sind als der Erwartungswert der Aussaatkosten und das Streuungsmaß von $M_{\text{raf}} Q(0,40)$ mit 43,93 €/ha und 10,79 €/ha. Von $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ zu $M_{\text{mraf}} Q(0,20)$ steigt die Maschinenanzahl wieder auf 15 an, aber sie bleibt immer noch niedriger als die Maschinenanzahl von $M_{\text{raf}} Q(0,40)$. Der Erwartungswert der Aussaatkosten sinkt

von 50,37 €/ha bei $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ auf 45,36 €/ha bei $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$. Das Streuungsmaß sinkt wiederum erwartungsgemäß von 45,81 €/ha auf 22,46 €/ha.

Tabelle 106: Aussaatkosten und Streuungsmaß der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl nach Quantilen für einen kleinen Betrieb für Mais (wendend) in Boltenhagen mit und ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

	Aussaatkosten (€/ha) ohne Windauflage				Aussaatkosten (€/ha) mit Windauflage				
	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)	M _{raf} Q(0,40)	M _{mraf} Q(0,30)	M _{mrav} Q(0,20)	M _{rav} Q(0,10)	
ex-ante festgelegte Maschinenanzahl Q(1-p)	8	10	11	12	16	13	15	17	Gewichtungs- faktoren
100%	200,43	94,66	81,60	68,53	281,74	345,82	303,10	261,62	0,025
95%	62,31	35,70	35,60	35,49	73,45	101,93	82,94	65,19	0,05
90%	34,22	33,59	33,27	32,95	45,00	78,81	56,27	38,73	0,05
85%	33,75	33,00	32,63	32,59	37,46	62,87	37,88	38,73	0,05
80%	33,50	32,68	32,28	32,59	37,46	54,29	37,41	38,73	0,05
75%	33,50	32,68	32,28	32,59	37,46	37,32	37,41	38,73	0,05
70%	33,06	32,14	32,19	32,59	37,46	37,32	37,41	38,73	0,05
65%	31,44	31,78	32,19	32,59	37,46	37,32	37,41	38,73	0,05
60%	31,05	31,78	32,19	32,59	36,02	36,15	36,06	37,20	0,05
55%	30,97	31,78	32,19	32,59	36,02	36,15	36,06	37,20	0,05
50%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,57	34,98	34,71	35,85	0,05
45%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,57	34,98	34,71	35,85	0,05
40%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,21	34,28	33,90	35,85	0,05
35%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,21	33,63	33,81	35,85	0,05
30%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,21	33,00	33,81	35,85	0,05
25%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,21	33,00	33,81	35,85	0,05
20%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,21	33,00	33,81	35,85	0,05
15%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,21	33,00	33,81	35,85	0,05
10%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,21	33,00	33,81	35,85	0,05
5%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,21	33,00	33,81	35,85	0,05
0%	30,97	31,78	32,19	32,59	34,21	33,00	33,81	35,85	0,025
E(K) (€/ha)	37,46	33,81	33,68	33,65	43,93	50,37	45,36	43,96	
D10_90 (€/ha)	3,24	1,80	1,08	0,36	10,79	45,81	22,46	2,88	

Q = Quantil, p = Wahrscheinlichkeit, E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mrav} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{rav} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

Eine abschließende Erklärung dafür, warum die Hypothese 8 in diesen wenigen Ausnahmen nicht zutrifft, erfolgt abschließend anhand von Abbildung 23 und Abbildung 24.

Abbildung 23 zeigt den Verlauf der Gesamtkosten der Aussaat in Abhängigkeit von der Anzahl der eingesetzten Sämaschinen für 1000 ha gemäß den Daten aus Tabelle 104, die sich auf den kleinen Betrieb mit Mais (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage beziehen. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die Aussaatkosten mit zunehmender Risikoaversion ansteigen, sodass bezüglich der Aussaatkosten für alle Maschinenanzahlen gilt: $M_{rav} Q(0,10) \geq M_{mrav} Q(0,20) \geq M_{mraf} Q(0,30) \geq M_{raf} Q(0,40)$. Da die Aussaatkosten aus den Kosten für die Sämaschinen sowie den Kosten aus aussaatbedingten Ertragsverlusten bestehen, führen bei $M_{raf} Q(0,40)$ 16 Maschinen zur kostenminimalen Aussaat, während bei $M_{mraf} Q(0,30)$ 13 Maschinen zur kostenminimalen Aussaat führen.

Abbildung 24 zeigt die Verteilungsfunktion der Aussaatkosten begrenzt auf das 10 %-Quantil bis zum 90 %-Quantil der Mechanisierungsalternativen bei einer ex-ante festgelegten Maschinenanzahl basierend auf den Daten aus Tabelle 106 und bezogen auf den kleinen Betrieb mit Mais (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage. Die Kurvenverläufe der verschiedenen Mechanisierungsalternativen weisen insgesamt eine starke Schwankung auf, insbesondere bei hohen Quantilen. Für $M_{mraf} Q(0,30)$ sind die Aussaatkosten vom 80 %-Quantil bis zum 90 %-Quantil im Vergleich zu den anderen Mechanisierungsalternativen besonders hoch, was dazu führt, dass $M_{mraf} Q(0,30)$ das insgesamt höchste Streuungsmaß von 45,81 €/ha aufweist. Die Berechnung des Erwartungswerts der Aussaatkosten sowie des Streuungsmaßes über alle Quantile ergibt sich aus der ex-ante festgelegten Maschinenanzahl, wodurch es möglich ist, dass das Streuungsmaß in Abbildung 24 die Beziehung $M_{mraf} Q(0,30) > M_{raf} Q(0,40)$ und $M_{mrav} Q(0,20) > M_{raf} Q(0,40)$ aufweist.

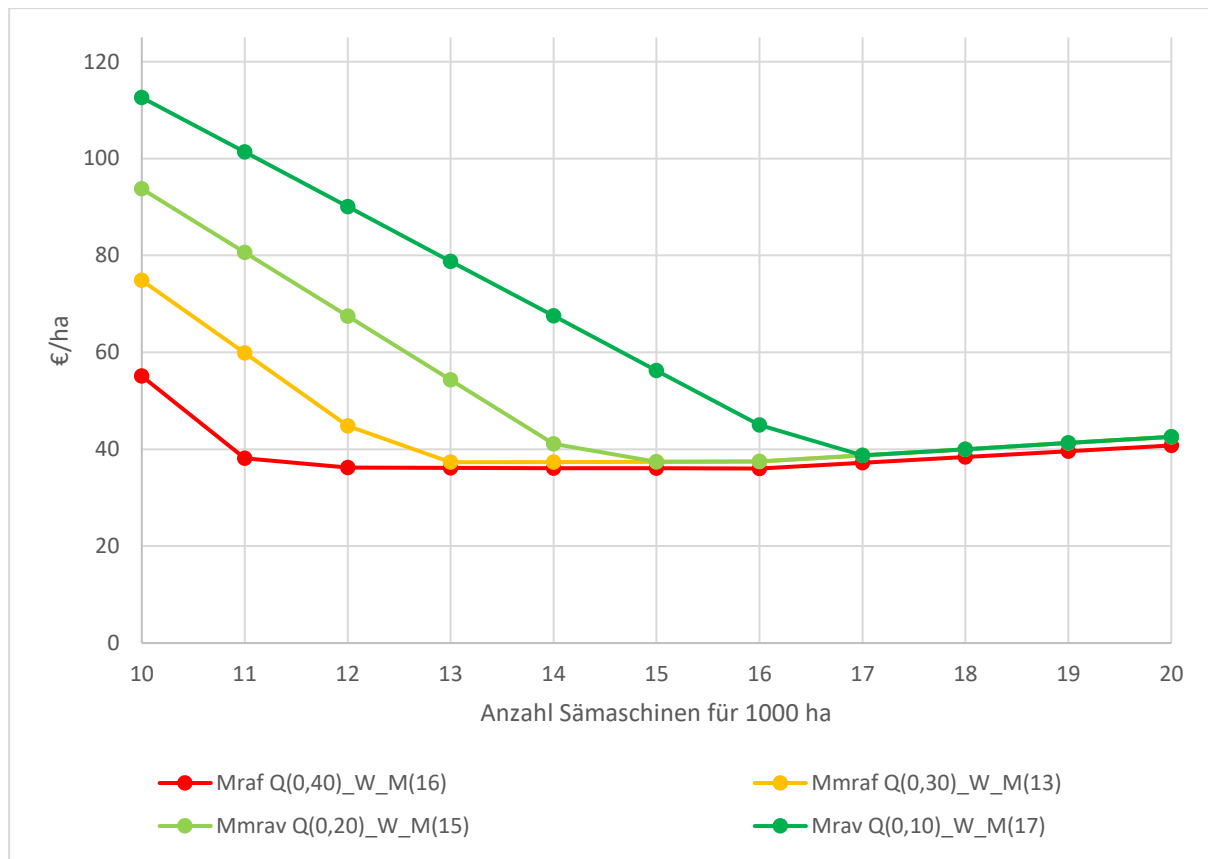


Abbildung 23: Verlauf der Aussaatkosten (Gesamtkosten) nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für den kleinen Betrieb mit Mais (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (W) [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrv} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung, Q = Quantil] (Quelle: Eigene Berechnung)

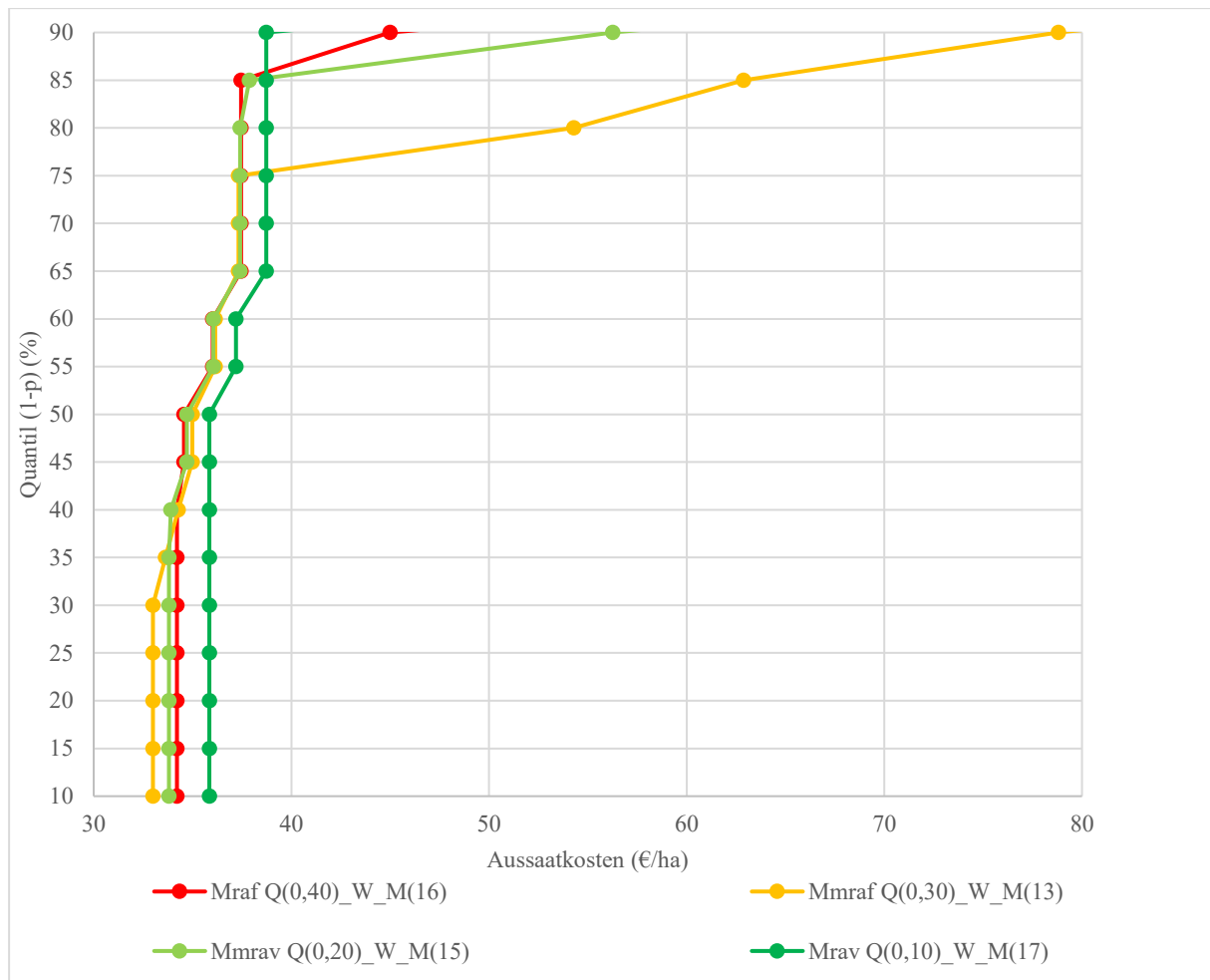


Abbildung 24: Verteilungsfunktion der Aussaatkosten der Mechanisierungsalternativen bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (M()) nach Quantilen (Q) [p = Wahrscheinlichkeit] für einen kleinen Betrieb für Sommergerste in Teterow (Direktsaat) mit Windauflage (W) [$M_{raf} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{mraf} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{mrav} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{rav} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] (Quelle: Eigene Berechnung)

5.4.6 Kurze Bewertung der Ergebnisse zum Exkurs

Tabelle 84 in Kapitel 4.10.5 zeigt exemplarisch den Unterschied zwischen dem kostenminimalen Maschineneinsatz für verschiedene Mechanisierungsalternativen und dem Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$) anhand des großen Betriebs für Zuckerrüben (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage. Dass das Kostenminimum von $E(K)$ mit 11 Sämaschinen ebenfalls den 11 Sämaschinen der kostengünstigsten Mechanisierungsalternative $M_{raf} Q(0,40)_M(11)$ entspricht, gilt nicht universell, wie Tabelle 145 des Anhangs zeigt. Diese Tabelle wurde erstellt, um zu demonstrieren, dass das Ergebnis von Tabelle 84 in Bezug auf die identische An-

zahl von Sämaschinen bei der kostengünstigsten Mechanisierungsalternative und dem Kostenminimum von $E(K)$ nicht allgemeingültig ist. Tabelle 145 zeigt die Ergebnisse des kostenminimalen Maschineneinsatzes für verschiedene Mechanisierungsalternativen und des Erwartungswerts der Aussaatkosten für den großen Betrieb in Teterow für Sommergerste (wendend) mit Windauflage. Diese Tabelle wurde nach dem gleichen Verfahren wie Tabelle 84 in Kapitel 4.10.5 erstellt. In Tabelle 145 entspricht die Anzahl der Sämaschinen bei der kostengünstigsten Mechanisierungsalternative nicht der Anzahl der Sämaschinen beim Kostenminimum von $E(K)$.

Insgesamt zeigt sich, dass die Ergebnisse des kostenminimalen Maschineneinsatzes für verschiedene Mechanisierungsalternativen und des Erwartungswerts der Aussaatkosten nur bedingt miteinander vergleichbar sind. Die Aussaatkosten bei ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (kostenminimaler Maschinenanzahl) liegen stets unter dem korrespondierenden Erwartungswert der Aussaatkosten. Während die Mechanisierungsalternativen eine Auswahlheuristik darstellen, zwischen denen Landwirte basierend auf ihrer Risikoeinstellung und verschiedenen Quantilen der Feldarbeitstage (FAT) auswählen können, wird $E(K)$ hingegen anhand der kumulativen Dichtefunktion der tatsächlich möglichen FAT berechnet. Bei der Erwartungswertberechnung werden die Randquantile (0 %-Quantil und 100 %-Quantil) nur mit halbem Gewicht einbezogen (siehe Kapitel 3.14).

Abbildung 25 zeigt den Verlauf der Aussaatkosten für 1000 ha des großen Betriebs in Boltenhagen für Zuckerrüben (wendend, mit Windauflage) für verschiedene Mechanisierungsalternativen sowie für $E(K)$. Es zeigt sich, dass $E(K)$ bei geringer Maschinenanzahl niedrigere Kosten aufweist als die Mechanisierungsalternativen, doch dieses Verhältnis kehrt sich mit zunehmender Maschinenanzahl um. Zunächst zugunsten der risikoaffineren Mechanisierungsalternativen und später auch zugunsten der risikoaverseren Mechanisierungsalternativen.

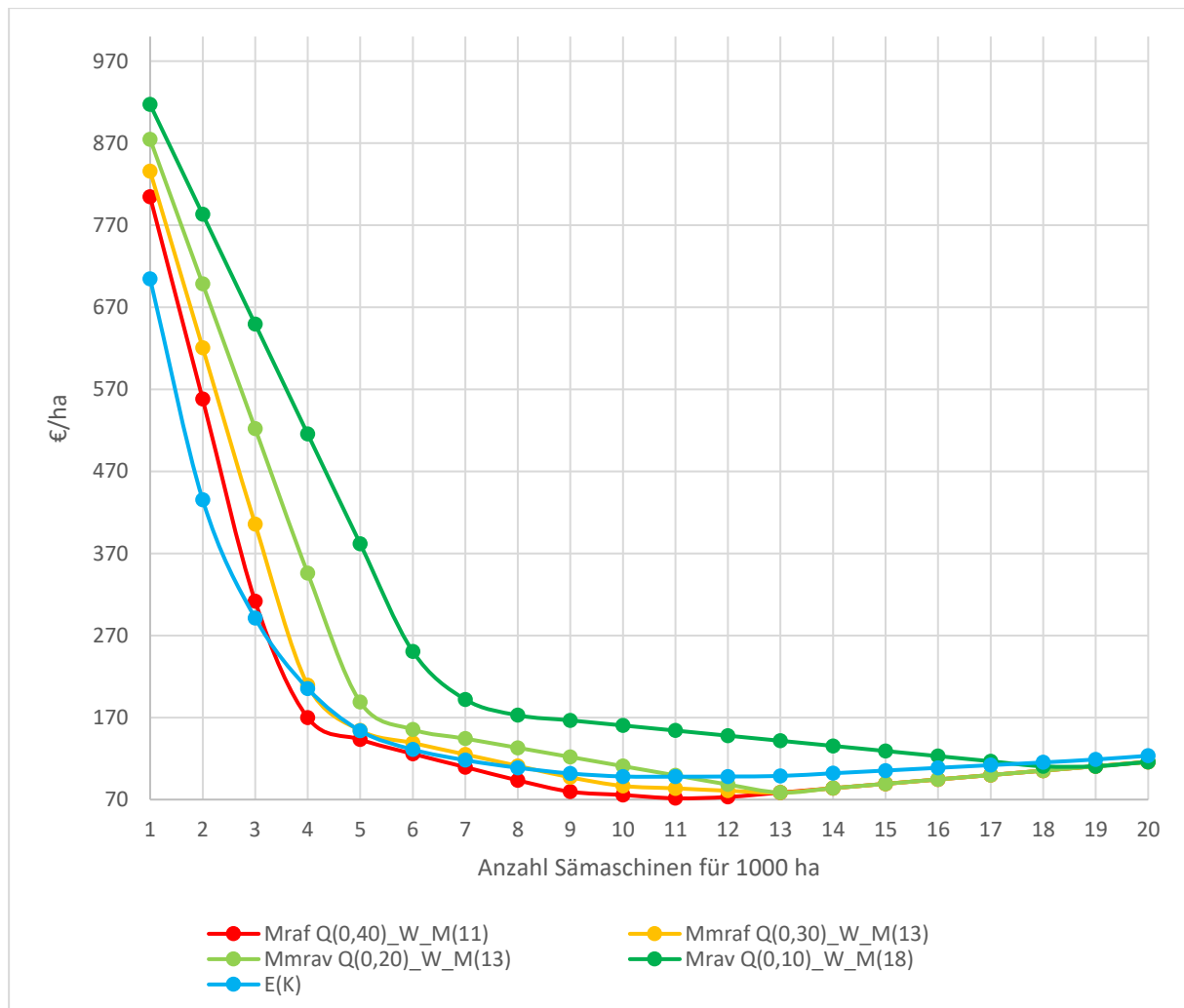


Abbildung 25: Verlauf der Aussaatkosten nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha für einen großen Betrieb für Zuckerrüben (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (W), für die Mechanisierungsalternativen [$M_{\text{raf}} Q(0,40)$ = risikoaffine Mechanisierung, $M_{\text{mraf}} Q(0,30)$ = mittlere risikoaffine Mechanisierung, $M_{\text{mrav}} Q(0,20)$ = mittlere risikoaverse Mechanisierung, $M_{\text{rav}} Q(0,10)$ = risikoaverse Mechanisierung] sowie für den Erwartungswert der Aussaatkosten ($E(K)$) [$M()$ = kostenminimaler Maschineneinsatz; Q = Quantil] (Quelle: Eigene Berechnung)

Auch wenn die Ergebnisse des kostenminimalen Maschineneinsatzes für verschiedene Mechanisierungsalternativen und der Erwartungswert der Aussaatkosten nur bedingt miteinander vergleichbar sind, lässt sich aus Abbildung 25 (siehe auch Tabelle 84) ableiten, dass die Berechnung der FAT anhand von Quantilen nach KTBL (2018, S. 253) sowie die Auswahl der Quantile in der Risikoanalyse gut zu dem Erwartungswert der Aussaatkosten passen, der auf Basis der tatsächlich möglichen FAT berechnet wurde. Die Aussaatkosten von $M_{\text{raf}} Q(0,40)_M(11)$ mit 71,53 €/ha, von $M_{\text{mraf}} Q(0,30)_M(13)$ und $M_{\text{mrav}} Q(0,20)_M(13)$ mit je-

weils 78,50 €/ha und $M_{rav} Q(0,10)_M(18)$ mit 110,47 €/ha liegen in einem angemessenen Abstand zu $E(K)$, welcher bei 11 Maschinen zu den optimalen Aussaatkosten von 97,89 €/ha führt.

Tabelle 107 zeigt detailliert, wie sich die Werte von $E(K)$ aus Abbildung 25 ergeben. Der Kostenvorteil von $E(K)$ gegenüber den verschiedenen Mechanisierungsalternativen resultiert bei geringer Maschinenanzahl aus den günstigen Werten der unteren Quantile. Dies wird durch das Streuungsmaß ($D10_90$) verdeutlicht. Bei einer geringen Maschinenanzahl sind höhere Werte zu beobachten, während das Streuungsmaß mit zunehmender Maschinenanzahl tendenziell abnimmt. So ist $E(K)$ beispielsweise bis zu einer Maschinenanzahl von 11 günstiger als $M_{rav} Q(0,20)$ (vgl. Tabelle 84). Erst ab einer höheren Maschinenanzahl kehrt sich das Verhältnis um. Insgesamt wird ersichtlich, dass risikoaverse Mechanisierungsalternativen eine größere Abweichung von $E(K)$ aufweisen als risikoaffine Mechanisierungsalternativen.

Tabelle 107: Erwartungswert der Aussaatkosten (E(K)) (€/ha) für 1000 ha bei gegebener ex-ante festgelegter Maschinenanzahl (von 1 bis 20) nach Quantilen für einen großen Betrieb für Zuckerrüben (wendend) in Boltenhagen mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnungen)

	ex-ante festgelegte Anzahl Sämaschinen für 1000 ha																				Gewichtungs- faktoren
Q(1-p)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
100%	1010,58	970,18	929,77	889,37	848,96	811,31	775,04	738,77	702,50	666,23	629,96	593,69	557,41	521,14	484,87	448,60	412,33	376,06	339,79	329,53	0,025
95%	958,34	865,69	773,04	680,40	587,75	497,86	409,34	320,83	232,32	190,62	187,43	184,23	181,03	177,83	174,64	171,44	168,24	165,04	161,84	158,65	0,05
90%	917,12	783,25	649,39	515,52	381,66	250,55	191,95	172,76	166,54	160,31	154,08	147,85	141,62	135,39	129,16	122,93	116,70	110,47	110,58	115,93	0,05
85%	874,70	698,42	522,14	345,86	188,70	155,46	144,27	133,08	121,89	110,70	99,51	88,31	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
80%	874,70	698,42	522,14	345,86	188,70	155,46	144,27	133,08	121,89	110,70	99,51	88,31	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
75%	857,03	663,07	469,12	275,16	157,69	143,05	129,80	116,54	103,28	90,02	83,66	80,74	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
70%	835,84	620,70	405,56	209,53	154,24	138,92	124,97	111,03	97,08	86,58	83,66	80,74	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
65%	835,84	620,70	405,56	209,53	154,24	138,92	124,97	111,03	97,08	86,58	83,66	80,74	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
60%	804,50	558,02	311,54	169,84	143,22	125,69	109,54	93,39	79,58	75,55	71,53	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
55%	768,94	486,90	206,39	150,28	126,68	105,85	86,39	70,37	64,70	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
50%	718,02	385,05	149,06	117,20	85,34	65,19	56,76	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
45%	716,70	382,42	148,24	116,10	83,96	64,37	55,80	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
40%	679,21	307,44	132,53	95,15	61,23	48,66	46,42	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
35%	647,32	243,66	124,26	84,13	61,23	48,66	46,42	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
30%	636,61	222,24	124,26	84,13	61,23	48,66	46,42	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
25%	584,90	168,52	107,72	65,52	47,44	41,08	46,42	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
20%	544,99	140,13	87,88	56,71	37,11	41,08	46,42	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
15%	456,07	118,36	67,07	43,48	37,11	41,08	46,42	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
10%	403,29	114,78	67,07	43,48	37,11	41,08	46,42	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
5%	340,18	102,37	59,63	35,90	37,11	41,08	46,42	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,05
0%	271,52	87,21	50,53	35,90	37,11	41,08	46,42	51,77	57,12	62,46	67,81	73,16	78,50	83,85	89,20	94,54	99,89	105,23	110,58	115,93	0,025
E(K) (€/ha)	704,77	435,44	291,14	205,32	153,74	130,94	118,01	108,75	101,77	98,13	97,89	98,11	98,76	102,06	105,36	108,66	111,96	115,26	118,87	123,40	
D10_90 (€/ha)	513,83	668,48	582,32	472,05	344,55	209,47	145,52	120,99	109,42	97,84	86,27	74,69	63,12	51,54	39,96	28,39	16,81	5,24	0,00	0,00	

Q = Quantil, p = Wahrscheinlichkeit, E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

D10_90 = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0,10) und Q(0,90) der Wetterrealisation bei gegebenen Maschinen (ex-ante)

5.5 Methodenkritik

Im Folgenden werden die naheliegendsten methodischen Unsicherheiten und deren Einfluss auf die Ergebnisse kritisch diskutiert.

Grundsätzlich unterscheiden sich die ökonomischen Berechnungen und die arbeitswirtschaftlichen Berechnungen durch die unterschiedlich unterstellte Anzahl an Arbeitskräften. Während bei der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes mit der Annahme einer unbegrenzten Anzahl an Arbeitskräften kalkuliert wird, ist die Anzahl der Arbeitskräfte bei den arbeitswirtschaftlichen Berechnungen über die Arbeitstableaus auf eine beziehungsweise zwei Arbeitskräfte limitiert. Darüber hinaus bestehen auch Gegensätze bei den zu bewirtschaftenden Flächen. Während bei der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes auf überbetrieblicher Ebene eine Referenzfläche von 1000 ha zugrunde gelegt wird, hängt der Flächen- beziehungsweise der Verfahrensumfang bei den arbeitswirtschaftlichen Berechnungen betriebsabhängig von der festgelegten Anzahl an Arbeitskräften und der Mechanisierung sowie von den berechneten Feldarbeitstagen (FAT) ab. Dies führt in der Regel zu einer wesentlich kleineren bewirtschafteten Fläche im Vergleich zur Referenzfläche von 1000 ha. Auch ist die Unterscheidung des Aussaatzeitraums bei der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes mit der exakten Einteilung nach Saatzeitspannen wesentlich genauer als beim Arbeitstableau, bei dem auf das KTBL-Schema des halbmonatlichen Ausführungszeitraums zurückgegriffen wird. Bei der zusammenfassenden Betrachtung werden die ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Ergebnisse aber dennoch in Kontext zueinander gestellt. Dies dient einer groben Abschätzung, ob eine berechnete Kostensteigerung der Aussaat unter den in dieser Arbeit getroffenen arbeitswirtschaftlichen Annahmen in einem Produktions- und Anbauverfahren überhaupt Entfaltung findet. Diese unscharfe Gegenüberstellung dient der Schaffung einer ersten Übersicht zu den möglichen Auswirkungen der Windauflage. Kalkulationen auf einzelbetrieblicher Ebene könnten an dieser Stelle zu wesentlich genaueren und im Einzelfall auch zu abweichenden Ergebnissen führen.

Die Berechnung der optimalen durchschnittlichen Maschinenzahl pro 1000 ha erscheint zwar für kleinere Betriebe wenig relevant. Dieser Ansatz verringert jedoch den verzerrenden Effekt von Ganzzahligkeitsbedingungen und stellt den tendenziellen Effekt der Windauflage beziehungsweise der Orientierung an einer mehr oder weniger sicheren optimalen Arbeitserledigung unter sonst gleichen Umständen dar. Darüber hinaus zeigen Rabenau und Aurbacher

(2023), dass die Anpassung im Dezimalzahlbereich zu grundsätzlich ähnlichen Ergebnissen führt. Die Berechnung der optimalen durchschnittlichen Maschinenzahl von deutlich weniger als 1000 ha hätte zur Folge, dass die Aussaat bereits mit einer Maschine unter den sonstigen getroffenen Annahmen fast ausschließlich in den nicht ungünstigen Zeiträumen (sehr früh, früh, optimal, spät, sehr spät) und hier vor allem im optimalen Saatzeitraum durchzuführen ist, sodass nur marginale bis keine Ertragsverluste auftreten würden und somit keine Erhöhung der Maschinenanzahl notwendig wäre. Damit würde das Ergebnis im Wesentlichen von der Ganzzahligkeitsbedingung abhängen, und der tendenzielle Effekt der Windauflage sowie einer veränderten Risikoeinstellung bei der Maschinenauswahl wäre damit verborgen geblieben.

Das Außerbetrachtlassen der Arbeitsgänge, die im gleichen Zeitraum wie die Aussaat ausgeführt werden (siehe Kapitel 3.12), ist weniger eine methodische Unsicherheit als eine Reduktion der Wirklichkeit zur Simplifizierung des Modells und führt zu einer modellhaften Unterbewertung der Aussaatkosten, tangiert aber nicht die Steigerung der Kosten durch die Windauflage selbst. Aufgrund der getroffenen Modellannahmen wie der Verfügbarkeit von Schleppern und Arbeitskräften zur Aussaat, den geringen Maschinen- und den Produktpreisen ist die günstigste Anpassung an die Windauflage die Erhöhung der Maschinenanzahl. Veränderte Rahmenbedingungen könnten zwar zu konträren Ergebnissen führen, sind aber kurz- bis mittelfristig unwahrscheinlich.

Die Annahme eines neutralen Deckungsbeitrags bei der Aussaat zu ungünstigen Bedingungen ist diskussionswürdig, da er eine starke Verengung der Handlungsoptionen von Landwirten darstellt. Ein negativer Deckungsbeitrag wurde ausgeschlossen, da dieser ökonomisch keinen Sinn macht und unterstellt werden kann, dass ein Landwirt nicht in einer Periode aussät, die zu einem schlechteren Ergebnis als "Nichtstun" führt. Darüber hinaus führt dies dazu, dass der Effekt der Ertragsreduktion nicht überbewertet wird. Alternativ hätten durch Anbauversuche Ertragsdaten zur Aussaat unter ungünstigen Bedingungen erhoben werden müssen, um entsprechende Deckungsbeiträge zu berechnen. Negative Deckungsbeiträge würden die Ergebnisse ohnehin kaum beeinflussen, da die Erhöhung der Anzahl der Sämaschinen bereits bei einem neutralen Deckungsbeitrag die kostengünstigere Alternative als die Realisierung von Ertragsverlusten darstellt.

Der Anbau einer Alternativkultur mit einem höheren Deckungsbeitrag anstatt der Realisierung eines neutralen Deckungsbeitrages der eigentlich anzubauenden Kultur ist grundsätzlich denkbar, aber aufgrund der gegebenen Kapazitäten an FAT nicht im selben Zeitraum möglich, sodass diese Alternative in dieser Arbeit unberücksichtigt bleibt. Grundsätzlich sind in der Realität neben der Erhöhung der Anzahl an Sämaschinen andere Möglichkeiten zur Anpassung an die Windaufgabe denkbar. Eine naheliegende Alternative wäre die Erhöhung der Arbeitszeit, schnellere Fahrgeschwindigkeiten bei der Aussaat sowie größere Arbeitsbreiten anstatt der Erhöhung der Maschinenanzahl. Da es keine Datengrundlage zu etwaigen, durch schnelleres Fahren verursachte Ertragsverluste gibt, findet diese Alternative in dieser Arbeit keine Berücksichtigung. Vielmehr ist anzunehmen, dass Landwirte ohnehin durchschnittlich mit der optimalen Geschwindigkeit aussäen. Bei der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes für 1000 ha ist es - entgegen den Ergebnissen von Rabenau und Aurbacher (2023) - nicht auszuschließen, dass unter anderen methodischen Annahmen und Rahmenbedingungen als in dieser Arbeit, die Erhöhung der Arbeitsbreite anstelle der Steigerung der Maschinenanzahl zur kostenoptimalen Aussaat führen könnte. Dies könnte insbesondere bei einer Berechnung auf betrieblicher Ebene gelten.

Bei der Risikoanalyse hätte die Berechnung der Verteilungsfunktion der FAT vom 0 %-Quantil bis zum 100 %-Quantil in 1 %-Schritten die Verteilungsfunktion noch besser charakterisiert. Es zeigte sich jedoch, dass die Kurvenverläufe nicht besonders komplex sind, sodass die Verteilungsfunktionen auch mit Schritten von 5 % grundsätzlich ausreichend abgebildet sind. Statt der Verwendung der Spannweite zwischen dem 10 %- und dem 90 %-Quantil als Streuungsmaß (D_{10_90}) wären alternativ auch die Standardabweichung oder die Spannweiten zwischen dem 0 %- und 100 %-Quantil oder zum Beispiel zwischen dem 25 %- und 75 %-Quantil denkbar gewesen. Da die Kurven der Verteilungsfunktionen in der Regel erst im oberen Quantilsbereich des 90 %-Quantils abknicken, war es wichtig, das Streuungsmaß (D_{10_90}) zu wählen, da es diesen Quantilsbereich beinhaltet. Bei den Ergebnissen zeigte sich zudem, dass bei der Auswahl der Maschinen eine zu einfache Heuristik angewendet wurde, die zu signifikanten Fehlern führen kann, welche jedoch äußerst selten auftreten. Die optimale Kombination aus Erwartungswert der Aussaatkosten und Risiko in Form des Streuungsmaßes (D_{10_90}) bleibt in dieser Arbeit unbeantwortet. Es wurde lediglich gezeigt, dass eine risikoaversere Mechanisierung in der Regel zu einem geringeren Streuungsmaß der Aussaatkosten führt. Für zukünftige Studien wäre es interessant, in einem weiteren Schritt die individuelle Risikoaversion und die

Annahme über die Funktionsform der Risikonutzenfunktion zu berücksichtigen, um die optimale Kombination aus Erwartungswert und Risiko zu berechnen.

6 Zusammenfassung

Über die ökologischen, arbeitswirtschaftlichen und ökonomischen Auswirkungen der Einführung der Anwendungsbestimmung NH681 ("Keine Ausbringung des behandelten Saatgutes bei Wind mit Geschwindigkeiten über 5 m/s.") liegen bis dato noch keine wissenschaftlichen Studien vor. Im Rahmen dieser Dissertation werden erstmals arbeitswirtschaftliche und ökonomischen Daten zu den Auswirkungen dieser neueingeführten Windauflage für ausgewählte Anbaukulturen und Stationen gewonnen und darüber hinaus das Risiko einer zeitgerechten Arbeitserledigung der Aussaat betrachtet.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, durch die hier gewonnenen Daten zu den Kostensteigerungen der Aussaat und der Vorteilhaftigkeit von Mechanisierungsalternativen Rückschlüsse auf die durch die Windauflage induzierten Veränderungen anderer Standorte, Gebiete und Anbaukulturen ziehen zu können. Um dies zu erreichen, werden die Windgeschwindigkeiten aller Stationen und insbesondere der drei genauer untersuchten Stationen Gießen, Teterow und Boltenhagen untersucht. Darüber hinaus werden die Feldarbeitstage (FAT) und die FAT nach den Aussaatzeitspannen der Kulturen für alle Stationen mit und ohne Windauflage berechnet. Bei der ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Analyse wird sich auf die drei Stationen Gießen, Teterow und Boltenhagen beschränkt, da diese aufgrund ihrer Eigenschaften wie Klimazone und durchschnittlicher Windgeschwindigkeit gut geeignet sind, Rückschlüsse auf andere Standorte zuzulassen. Durch die Berechnung der Verfahrensumfänge ohne und mit Windauflage sowie die Betrachtung der Resilienz der Anbauverfahren gegenüber der Windauflage durch die Ordnung der Restriktionen und den Abstand zwischen Aussaat- und Verfahrensumfang werden die arbeitswirtschaftlichen Auswirkungen der Windauflage auf die Anbauverfahren und die landwirtschaftlichen Betriebe aufgezeigt. Durch die integrative Betrachtung der Arbeitsgänge innerhalb eines Anbauverfahrens und der Berechnung der möglichen Umfänge anhand eines linearen Programmierungstableaus (Arbeitstableau) wird darüber hinaus eine Methode zur Analyse der arbeitswirtschaftlichen Zusammenhänge entwickelt. Sie könnte zum Beispiel bei der Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf die Arbeitswirtschaft der Zukunft Anwendung finden. Mit der Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes ohne und mit Windauflage werden die erwartbaren Kostensteigerungen für die Aussaat der Anbauverfahren kalkuliert sowie der Einfluss der Windauflage auf das Verhältnis zwi-

schen Maschinenanzahl und Ertragsverlusten aufgrund suboptimaler Saatbedingungen ermittelt. Die Risikoanalyse verdeutlicht die Veränderungen des optimalen Risikoverhaltens verschiedener ex-ante festgelegter Mechanisierungsalternativen durch die Windauflage und dient der Bestimmung der optimalen Risikoeinstellung anhand der Aussaatkosten und deren Veränderungen.

Wie die Ergebnisse zeigen, entfallen durch die Windauflage in fast allen Stationen FAT zur Aussaat, was zu einem höheren kostenminimalen Maschineneinsatz für 1000 ha und geringeren direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen führt. Die Ergebnisse zeigen zudem große Unterschiede zwischen Stationen, Betriebsgröße, Anbaukulturen und Anbauverfahren, sodass es bei Anpassungen und Abschätzungen durch die Windauflage einer spezifischen Analyse bedarf. Besonders deutlich wird die Diversität der Ergebnisse bei der Risikoanalyse, welche zu teils konträren Ergebnissen führt.

Diese Dissertation hat durch die kombinierte Anwendung multipler Methoden einen ersten Beitrag zur Abschätzung der ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Auswirkungen der Windauflage geliefert. Die hier gewonnenen Daten zu den Kostensteigerungen der Aussaat und zur Vorteilhaftigkeit von Mechanisierungsalternativen können verwendet werden, um die durch die Windauflage induzierten Veränderungen auf andere Standorte, Gebiete und Anbaukulturen und deren Deckungsbeiträge detaillierter zu erfassen.

Summary

No scientific studies have yet examined the labour-economic and economic consequences of the newly introduced application regulation NH681, which prohibits the sowing of treated seed when wind speeds exceed 5 m/s. This dissertation analyses the effects of this wind restriction on selected crops, cultivation systems, farm types and locations. The investigation focuses on the stations Gießen, Teterow and Boltenhagen, which represent different wind conditions, and covers winter wheat, spring barley, maize and sugar beet.

The study examines how the wind restriction influences available field workdays, feasible sowing and cultivation scopes, machinery requirements, sowing costs and the risk of completing sowing operations within the appropriate time window. Methodologically, it combines the calculation of field workdays with and without the restriction, the determination of feasible cultivation scopes using a linear programming tableau (Arbeitstableau), the calculation of cost-minimal machinery use and a risk analysis of different mechanisation alternatives. Labour-economic effects are assessed by comparing cultivation scopes and identifying limiting field operations, while economic effects are evaluated through changes in sowing costs, machinery requirements and direct and labour-cost-free returns.

The results show that the wind restriction reduces the number of available field workdays for sowing at nearly all analysed stations. This generally increases the cost-minimal machinery requirement for 1000 ha and lowers direct and labour-cost-free returns. The magnitude of these effects varies considerably between locations, crops, cultivation systems and farm types, with the strongest impacts occurring at windier, particularly northern German, sites. The risk analysis further shows that higher machinery capacities can reduce the risk of delayed sowing and associated yield losses and, in many cases, do not lead to higher expected sowing costs.

Overall, this dissertation provides an initial contribution to quantifying the labour-economic and economic effects of the wind restriction. The results show that its consequences for farm organisation, machinery planning and sowing costs depend strongly on site-specific and crop-specific conditions.

Literaturverzeichnis

Agrarheute (2015): Die häufigsten Fehler bei der Aussaat von Sommergerste. Internet: <https://www.agrarheute.com/pflanze/getreide/haeufigsten-fehler-aussaat-sommergerste-444329>, abgerufen am 05.05.2021.

Arbeitszeitgesetz (ArbZG) (2021): In der Fassung vom 06.06.1994, zuletzt geändert am 22.12.2020.

Auernhammer, H. und Schön, H. (1977): Terminologie für die Arbeitszeiterfassung und Planzeitbearbeitung im Landbau. Landtechnik, Jahrgang 32, Ausgabe 1, S. 27-30.

Augter, G. (1990): Neue Daten zu verfügbaren Feldarbeitstagen. Landtechnik, Jahrgang 45, Ausgabe 7+8, S. 305-307.

Aurbacher, J., Lippert, C. und Dabbert, S. (2007): Zur Ökonomik von Maschinengemeinschaften in kleinstrukturierten Agrargebieten. German Association of Agricultural Economists (GEWISOLA), 47th Annual Conference, Weihenstephan, Germany, September 26-28, 2007.

Baker, C. H., Horrocks, R. D. und Braaten M. (1975): Analysis of Harvesting, Loading, and Transportation of Farm Grains. Smulation, Volume 24, Issue 23, S. 121-124.

Belton, B., Win, M. T., Zhang, X. und Filipski, M. J. (2021): The rapid rise of agricultural mechanization in Myanmar. Food Policy, Volume 101.

Bismarck von, L. und Buchholz, H. (1931): Methodik und Technik der Arbeitsbeobachtung in der Landwirtschaft. Paul Parey, Berlin.

Bochtis, D. D., Sørensen, C. A. und Busato, P. (2014): Advances in agricultural machinery management: A review. Biosystems Engineering, Volume 126, S. 69-81.

Boese, L. (2001): Optimale Saatzeiten und Saatstärken der Sommergetreidearten. Bernburger Agrarberichte, Heft 2/2001, S. 8-16.

Boese, L. (2006): Kaum ertragswirksam. Neue Landwirtschaft, Heft 3/2006, S. 46-47.

Bokermann, R. und Michalczyk, K-W. (1980): Standortbezogene Abgrenzung verfügbarer Feldarbeitstage. Landtechnik, Jahrgang 35, Ausgabe 2, S. 82-84.

Brandes, W. (1967): Entwicklungsmöglichkeiten der Formen überbetrieblicher Zusammenarbeit in der landwirtschaftlichen Produktion. Agrarwirtschaft: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Marktforschung und Agrarpolitik, Ausgabe 16, Heft 2, S. 41-48.

Bundesamt für Naturschutz (BFN) (2021): Landschaftssteckbriefe. Internet: <https://www.bfn.de/themen/biotop-und-landschaftsschutz/schutzwuerdige-landschaften/landschaftssteckbriefe.html>, abgerufen am 25.05.2021.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2021): Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland mit Informationen über beendete Zulassungen (Stand: April 2021). Internet: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_uebersichtsliste.pdf?__blob=publicationFile&v=14, abgerufen am 22.04.2021.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2022): Anwendungsbestimmungen im Risikomanagement fungizider Getreidebeizen werden nicht weiter ausgesetzt - Fachmeldung vom 16.06.2022. Internet: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Fachmeldungen/04_pflanzenschutzmittel/2022/2022_06_16_Fa_Risikomanagement_Saatgutbeizen_2022.html, abgerufen am 28.12.2022.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BML) (2018): Vollkostenauswertung im land- und forstwirtschaftlichen Betrieb - Benutzerhandbuch zur Excel-Anwendung, Kennzahlenbeschreibung. 2. überarbeitete Auflage, Wien.

Bürgerliches Gesetzbuch (BGB) (2017): In der Fassung vom 02.01.2002, zuletzt geändert am 20.07.2017.

Chen, X. (1994): Untersuchung zur zeitlichen und räumlichen Ähnlichkeit von phänologischen und klimatologischen Parametern in Westdeutschland und zum Einfluß geoökologischer Faktoren auf die phänologische Entwicklung im Gebiet des Taunus. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.

Conry, M. J. (1998): Influence of seed rate and sowing date on the yield and grain quality of Blenheim spring malting barley in the south-east of Ireland. Journal of Agricultural Science, Volume 130, Issue 3, S. 307-315.

Davis, T. D. und Patrick, G. F. (2002): The Effect of Producers' Risk Attitudes on Sizing the Harvest and Onfarm Drying System. Canadian Journal of Agricultural Economics, Volume 50, Issue 1, S. 1-14.

De Toro, A., Gunnarsson, C., Lundin, G. und Jonsson, N. (2012): Cereal harvesting - strategies and costs under variable weather conditions. Biosystems Engineering, Volume 111, Issue 4, S. 429-439.

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (DLG) (2004): Arbeiten der DLG/Band 197; Die neue Betriebszweiganalyse - Ein Leitfaden für die Praxis. 2. Auflage, DLG Verlag; Frankfurt am Main.

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (DLG) (2021): Newsletter Archiv 2021/02 - Beizung im Gegenwind? Internet: <https://www.dlg.org/de/mitgliedschaft/newsletter-archiv/2021/02/beizung-im-gegenwind>, abgerufen am 28.12.2022.

Deutscher Wetterdienst (DWD) (2021): Datensatzbeschreibung - Eintrittsdaten verschiedener Entwicklungsstadien landwirtschaftlicher Kulturpflanzen von der Bestellung bis zur Ernte (Jahresmelder, historisch). Internet: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/phenology/annual_reporters/crops/historical/BESCHREIBUNG_obsgermany_phenology_annual_reporters_crops_historical_de.pdf, abgerufen am 30.04.2021.

Deutscher Wetterdienst (DWD) (2022a): Agrarmeteorologische Gefahrenhinweise - Bedingungen nach NH681-3 und NW681. Internet: https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/2_agrarwetter/_node.html, abgerufen am 28.12.2022.

Deutscher Wetterdienst (DWD) (2022b): Index of /climate_environment/CDC/observations_germany/. Internet: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/, abgerufen am 17.03.2022.

Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK) (2020): Produktion, Anbau, Aussaat. Internet: <https://www.maiskomitee.de/Produktion/Anbau/Aussaat>, abgerufen am 05.05.2020.

Diao, X., Silver, J. und Takeshima, H. (2016): Agricultural mechanization and agricultural transformation. IFPRI Discussion Paper 1527, Washington.

Diepenbrock, W., Elmer, F. und Leon, J. (2016): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung - Grundwissen Bachelor. 4 Auflage, Ulmer Verlag, Stuttgart.

Donaldson, G. F. (1968): Allowing for Weather Risk in Assessing Harvest Machinery Capacity. American Journal of Agricultural Economics, Volume 50, Issue 1, S. 24-40.

Dormann, C. F. (2013): Parametrische Statistik - Verteilungen, maximum likelihood und GLM in R. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Dyer, J. A. und Baier, W. (1979): Weatherbased estimation offield workdays in fall. Canadian Agricultural Engineering, Volume 21, Issue 2, S. 119-122.

Eimecke-Herbst, A. (1975): Ein methodischer Ansatz zur Analyse von Einsatzzeiten in der Feldwirtschaft - Forschungsberichte Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft. Band 12, Universität Hohenheim.

Ernst, P. und Loeper, E.-G. (1976): Temperaturentwicklung und Vegetationsbeginn auf dem Grünland. Das wirtschaftseigene Futter, Band 22, S. 5-12.

Fechner, W. (2014): Anforderungen an ein Zeitgliederungsschema in der Landwirtschaft. Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 83, S. 7-13.

Feodoroff, A., Gay, Y. und Tournier, J. P. (1971): Une Methode de calcul jour par jour de la réserve en eau d'un sol nu. Manuskriptdruck des Institut national de la recherche agronomique, Paris.

Gindele, E. H. (1972): Die Bedeutung agrarstruktureller Elemente für eine rationelle Arbeits erledigung in der Feldwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Schrift 156, Münster-Hiltrup.

Haidn, B. und Schleicher, T. (2006): Arbeitszeitaufwand in den Pilotbetrieben. Schriftenreihe der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 15, S. 185-210.

Hanf, C. H. (1985): Wartekosten - ein entscheidungsrelevanter Faktor bei Maschineninvestitionen. Agrarwirtschaft: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Marktforschung und Agrarpolitik, Ausgabe 34, Heft 5, S. 137-146.

Hartung, M., Heider, D. und Albrecht, C. (2014): Rolle der Lohnarbeit in der sächsischen Landwirtschaft. Schriftenreihe des Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Heft 23/2014.

Haude, W. (1955): Determination of evapotranspiration by an approach as simple as possible. Mitteilungen Deutscher Wetterdienst, 2 Jahrgang, Ausgabe 11.

Heß, M. (2006): Vorkommen und Bedeutung der Schwarzbeinigkeit, verursacht durch den Pilz *Gäumannomyces graminis*, an Winterweizen in Deutschland als Grundlage für die Anwendung neuer Beizmittel. Dissertation, Technische Universität München.

Hesselbach, J. und Kreiner, E. (1966): Die Ermittlung von Zeitspannen und Feldarbeitstagen. Schweizer landwirtschaftliche Monatshefte, Ausgabe 44, Heft 2, S. 65-78.

Hessischer Bauernverband (HBV) (2022): Rundschreiben 122/2022 - Windaufgabe NH681 und Neuformulierung von gebeiztem Saatgut. Internet: <https://www.hessischerbauernverband.de/sites/default/files/2022-11/HBV-RS%20Nr.%20122-22%20Windaufgabe%20gebeiztes%20Saatgut.pdf>, abgerufen am 28.12.2022.

Hochstättler, W. (2010): Algorithmische Mathematik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Hofmann, A. und Frühauf C. (2017): Agrarmeteorologie. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn.

Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion (ISIP) (2020a): Winterweizen Saat. Internet: <https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de/infothek/getreide/weizen/saat>, abgerufen am 05.05.2020.

Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion (ISIP) (2020b): Zuckerrübe, Sortenwahl, Saatzeit, Aussaatstärke. Internet: <https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de/infothek/hackfruechte/zuckerrueben/sortenwahl>, abgerufen am 05.05.2020.

Juskiw, P. E. und Helm J. H. (2003): Barley response to seeding date in central Alberta. Canadian Journal of Plant Science, Volume 83, Issue 2, S. 275-281.

Kehl, C., Steiger, S. und Meyer, R. (2021): Digitalisierung der Landwirtschaft: Gesellschaftliche Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und Effekte. Teil II des Endberichts zum TA-Projekt. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, TAB-Arbeitsbericht 194.

Koch, M. (2018): Sind Spätsaaten bei Winterweizen sinnvoll? Innovation, Ausgabe 4, S. 16-17.

Krähenmann, S., Walter, A., Brienens, S., Imbery, F. und Matzarakis, A. (2016): Stündliche Raster der Lufttemperatur für Deutschland (Projekt TRY-Weiterentwicklung), Version V001. Internet: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/hourly/Project_TRY/air_temperature_mean/BESCHREIBUNG_gridsgermany_hourly_Project_TRY_air_temperature_mean_de.pdf, abgerufen am 06.05.2021.

Kreher, G. (1953): Der Arbeitsvoranschlag im Bauernhof. Landarbeit und Technik - Schriftenreihe des Institutes für landwirtschaftliche Arbeitswissenschaft und Landtechnik in der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, Bad Kreuznach, Heft 14, S. 1-73.

Kreher, G. und Hesselbach, J. (1968): Arbeits- und Zugkraftbedarfszahlen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft - Kalkulationsunterlagen für Betriebswirtschaft, Band 1, Teil 3, Wolfratshausen.

Krummenacher, R. (1979): Situation des überbetrieblichen Maschineneinsatzes - Fallstudie im Kanton Bern. Schriftenreihe der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik.

Kuhlmann, F., Berg, E. Deselaers, N., Haimerl, J. und Pahmeyer, L. (1987): Pflichtheft für die Datenverarbeitung in der Pflanzenproduktion. Expertenwissen für Landwirte, Berater und Programmierer, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Frankfurt.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2008): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/2009 - Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. 21. Auflage, KTBL, Darmstadt.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2012): Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/2013 - KTBL-Datensammlung. 23. Auflage, KTBL, Darmstadt.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2014): Betriebsplanung Landwirtschaft 2014/2015 - KTBL-Datensammlung. 24. Auflage, KTBL, Darmstadt.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2016): Betriebsplanung Landwirtschaft 2016/2017 - KTBL-Datensammlung. 25. Auflage, KTBL, Darmstadt.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2017): Leistungs-Kostenrechnung. Internet: <http://daten.ktbl.de/downloads/dslkr/Leistungs-Kostenrechnung.pdf>, abgerufen am 24.01.2021.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2018): Betriebsplanung Landwirtschaft 2018/2019 - KTBL-Datensammlung. 26. Auflage, KTBL, Darmstadt.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2019): Methodische Grundlagen der Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft. Internet: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Artikel/Datensammlung/Methodik.pdf, abgerufen am 27.04.2021.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2020a): Betriebsplanung Landwirtschaft 2020/2021 - KTBL-Datensammlung. 27. Auflage, KTBL, Darmstadt.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2020b): KTBL-Web-Anwendungen. Internet: <https://www.ktbl.de/webanwendungen/>, abgerufen am 22.06.2020.

KWS (2020a): Hilfreiche Tipps zur optimalen Aussaat von Zuckerrüben. Internet: <https://www.kws.com/de/de/beratung/aussaat/zuckerruebe/>, abgerufen am 05.05.2020.

KWS (2020b): Wann ist der richtige Zeitpunkt für die Aussaat? Internet: <https://www.kws.com/de/de/beratung/aussaat/aussaatzeit/mais/>, abgerufen am 05.05.2020.

Lak, M. B. und Almassi, M. (2011): An analytical review of parameters and indices affecting decision making in agricultural mechanization. Australian Journal of Agricultural Engineering, Volume 2, Issue 5, S. 140–146.

Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLFG) (2012): Ergebnisse und Empfehlungen zur Saatzeit und Saatstärke bei Wintergetreide. Internet: https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Herr_Dr_Boese_Saatzeit_Saatstaerke.pdf, abgerufen am 26.05.2021.

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG Sachsen-Anhalt) (2014): Versuchsbericht 2014 Gadegast. Internet: https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/koerner-fruechte/vb13_wigetreide_term_sorte.pdf, abgerufen am 26.05.2021.

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) (2021): Marktfruchtbau- Stickstoffdüngung - Allgemeine Hinweise zur N-Düngung von Winterweizen. Internet: <https://llh.hessen.de/pflanze/marktfruchtbau/wintergetreide/duengung-winter/stickstoffduengung/>, abgerufen am 05.03.2021.

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) (2020): Anbautelegram Getreide. Internet: <https://www.landwirtschaft-mv.de/static/LFA/Daten/Anbautelegramm%20Getreide.pdf>, abgerufen am 05.05.2020.

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) (2011): Wie früh kann man Weizen säen? Internet: <https://www.landwirtschaft-mv.de/Fachinformationen/Ackerbau/Wintergetreide/?id=350&processor=processor.sa.lfafo-renbeitrag>, abgerufen am 25.05.2021.

Landesverband Bayerischer Saatgetreideerzeuger-Vereinigungen e.V. (2019): Grundpreisinformation Herbst 2019 - wichtige weitere Informationen. Landesverband Bayerischer Saatgetreideerzeuger-Vereinigungen e.V., Freising.

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2015): Sorten, Aussaat, Ernte bei Zuckerrüben. Internet: <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/zuckerrueben/sortenwahl-pdf.pdf>, abgerufen am 12.11.2021.

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2021): Stickstoffdüngung im Getreide - Ermittlung des Düngebedarfs. Internet: <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/getreide/getreide-n-duengung.pdf>, abgerufen am 05.03.2021.

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2020): Winterweizen - Anbautechnik. Internet: https://www.lksh.de/fileadmin/PDFs/PDF_Archiv/Ackerkulturen/Winterweizen/Winterweizen_Anbautechnik_.pdf, abgerufen am 05.05.2020.

Lermer, J. (1961): Arbeitszeitspannen und verfügbare Arbeitstage unter dem Einfluß von Klima und Bodenart im niederbayerischen Raum. Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch, Nr. 38, S. 157-195.

Lips M. und Bolli S. (2007): Weather risk and machinery costs - A Monte Carlo simulation for the wheat harvest. Paper presented at the 101st EAAE Seminar "Management of Climate Risks in Agriculture", July 05-06, 2007, Berlin, Germany.

Lips, M., Finger, R. und Calanca, P. (2008): Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf Risiko und Kosten der Weizenernte. Yearbook of Socioeconomics in Agriculture 2008, S. 219-232.

Luder, W. (1984): Mähdrusch: Verfügbare Zeit, erforderliche Kapazität, Kosten. FAT-Blätter für Landtechnik Nr. 248, Tänikon.

Mashkov, S., Ishkin, P., Zhiltsov, S. und Mastepanenko, M. (2019): Methods of determining the need for agricultural machinery. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 403.

Mayr, J. (2011): Gemeinschaftsmaschinen: Ja aber. Internet: <https://oekl.at/wp-content/uploads/2011/11/Kolloquium-2011-Mayr.pdf>, abgerufen am 17.02.2022.

Meier, U. (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen - BBCH Monografie. 2. Auflage, Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft, Berlin.

Miller, A., Dobbins, C. L., Pritchett, J. G., Boehlje, M. und Ehmke, C. (2004): Risk management for farmers - Staff Paper 4-11. Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette.

Mimra, M., Kavka, M. und Kumhála, F. (2017): Risk analysis of the business profitability in agricultural companies using combine harvesters. Research in Agricultural Engineering, Volume 63, Issue 3, S. 99-105.

Mishra, D. und Satapathy, S. (2023): Reliability and maintenance of agricultural machinery by MCDM approach. International Journal of System Assurance Engineering and Management, Volume 14, S. 135-146.

Oberforster, M. (2002): Viröse Gelbverzwergung bei Wintergetreide in Österreich - Sortenreaktion und Gegenstrategien. Bericht über die 53. Tagung 2002 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, S. 99-106.

Patrick, G. F. (1998): Managing risk in agriculture. MidWest Plan Service, Iowa State University.

Pallutt, B. (1994): Einfluss des Saattermines auf Verunkrautung und Ertrag von Winterweizen. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, Band 46, Ausgabe 2, S.34-36.

Peng, J., Zhao, Z. und Liu, D. (2022): Impact of Agricultural Mechanization on Agricultural Production, Income, and Mechanism: Evidence From Hubei Province, China. *Frontiers in Environmental Science*, Volume 10.

Prochnow, A., Risius, H., Hoffmann, T. und Chmielewski, F. M. (2015): Does climate change affect period, available field time and required capacities for grain harvesting in Brandenburg, Germany?. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 203, Issue 1, S. 43-45.

Rabenau, P. und Aurbacher, J. (2023): Mögliche Auswirkungen einer Windaufgabe für gebeiztes Saatgut auf Aussaatkosten und Risikoalternativen. Unveröffentlichtes Manuskript (siehe Ende des Anhangs).

Ramaratnam, S. S., Rister, E. M., David, B. A. and Novak, J. (1986): Risk attitudes and farm/producer attributes: A case study of texas coastal bend grain sorghum producers. *Southern journal of agricultural economics*, 1986/12, S. 85-95.

Richard, N. B. (1976): Available Field Time, Yield Losses and Farm Planning. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, Volume 24, Issue 1, S. 21-31.

Saaten-Union (2021): Einfluss von Anbaumaßnahmen auf Ertrag und Qualität. Internet: https://www.saaten-union.de/news/10541_Einfluss_von_Anbaumassnahmen_auf_Ertrag_und_Qualitaet, abgerufen am 11.11.2021.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL) (1999): Anleitung zur Vollkostenrechnung im landwirtschaftlichen Betrieb. Internet: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13413/documents/15192>, abgerufen am 15.04.2022.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL) (2001): Getreide im ökologischen Landbau. Internet: <https://orgprints.org/id/eprint/15102/4/Getreidearten.pdf>, abgerufen am 01.06.2021.

Schäfer, B. C. und Merker C. (2012): Auswirkungen von Saatstärke, Saattermin und Sorte auf den Ertrag von Winterweizen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Band 24, S. 291-292.

Schiefer, L. (2021): Die Saatgutproduktion 2020 - Anbau, Marktlage und Wirtschaftlichkeit (Systemrelevanz und Probleme). Veröffentlichungen der Leipziger Ökonomischen Societät e.V., Heft 35, S. 5-12.

Schmidt, H. (1997): Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau - Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Dissertation, Universität Gesamthochschule Kassel.

Schmidt, W. (2013): Den richtigen Mais (recht)zeitig säen. Praxisnah - Fachinformationen für die Landwirtschaft, Ausgabe 1/2013, S. 14-15.

Schroers, J. O. und Sauer, N. (2011): Die Leistungs-Kostenrechnung in der landwirtschaftlichen Betriebsplanung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.

Schroers, J. O. und Krön, K. (2019): Methodische Grundlagen der Datensammlung „Betriebsplanung Landwirtschaft“. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.

Spieß, B. (1999): Arbeitswirtschaftliche Simulation der Feldarbeiten auf Wochenbasis unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Verhältnisse. Dissertation, Technische Universität München.

Strube (2021): Aussaat und Feldaufgang. Internet: <https://www.strube.net/beratung/aussaat-und-feldaufgang>, abgerufen am 12.11.2021.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) (2013): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Silomais. Internet: https://www.tll.de/www/daten/publikationen/leitlinien/II_smais.pdf, abgerufen am 05.05.2020.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) (2015): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Winterweizen. Internet: http://www.tll.de/www/daten/publikationen/leitlinien/ll_ww.pdf, abgerufen am 30.04.2021.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) (2008): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Zuckerrüben. Internet: <https://www.tll.de/www/daten/publikationen/leitlinien/zuck0908.pdf>, abgerufen am 17.02.2022.

Tschischej, M. (2017): Sommergetreide - Anbauentscheidend für Ertrag und Qualität. Kärntner Bauer, Heft 8/2017, S. 13 ff.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (1993): VDI-Richtlinie 3786. Umweltmeteorologie, Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Oberflächen, Blatt 13, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn.

Winner, C. (1981): Zuckerrübenanbau. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

Yao-Chi, L., Teasdale, J. R. und Wen-Yuen, H. (2003): An Economic and Environmental Tradeoff Analysis of Sustainable Agriculture Cropping Systems. Journal of Sustainable Agriculture, Volume 22, Issue 3, S. 25-41.

Anhang

Tabelle 108: Vergleich des für 2 ha und 10 ha Schläge durchschnittlichen Arbeitszeitbedarfs (h/ha) für das wendende und das nicht wendende Anbausystem (sowie für die Direktsaat) für Weizen, Sommergerste, Mais und Zuckerrübe, detailliert (Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL, 2020b)

Kultur, Anbausystem, Schlaggröße und Mechanisierung	Arbeitszeitbedarf Aussaat (h/ha)	Arbeitszeitbedarf Anbauverfahren (h/ha)
Weizen, wendend, 2 ha, 67 kW	0,81	10,66
Weizen, wendend, 10 ha, 120 kW	0,36	5,36
Weizen, nicht wendend, 2 ha, 67 kW	1,24	9,71
Weizen, nicht wendend, 10 ha, 120 kW	0,64	4,87
Weizen, Direktsaat, 2 ha, 67 kW	0,70	5,89
Weizen, Direktsaat, 10 ha, 120 kW	0,40	3,52
Sommergerste, wendend, 2 ha, 67 kW	0,81	9,30
Sommergerste, wendend, 10 ha, 120 kW	0,36	4,58
Sommergerste, nicht wendend, 2 ha, 67 kW	1,22	8,61
Sommergerste, nicht wendend, 10 ha, 120 kW	0,64	4,26
Sommergerste, Direktsaat, 2 ha, 67 kW	0,70	4,53
Sommergerste, Direktsaat, 10 ha, 120 kW	0,40	2,74
Mais, wendend, 2 ha, 67 kW	0,80	13,70
Mais, wendend, 10 ha, 120 kW	0,27	9,76
Mais, nichtwendend, 2 ha, 67 kW	0,80	12,75
Mais, nichtwendend, 10 ha, 120 kW	0,27	9,38
Zuckerrübe, wendend, 2 ha, 67 kW	0,98	11,12
Zuckerrübe, wendend, 10 ha, 120 kW	0,31	4,18
Zuckerrübe, nichtwendend, 2 ha, 67 kW	0,98	10,91
Zuckerrübe, nichtwendend, 10 ha, 120 kW	0,31	4,06

Tabelle 109: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Barth (Quelle: Eigene Berechnung)

Monat	ohne Windaufgabe			mit Windaufgabe			ohne Windaufgabe		
	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT3_L	FAT3_M	FAT3_S
JAN01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,98	0,00	0,00
JAN02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,78	0,00	0,00
FEB01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,15	0,00	0,00
FEB02	1,20	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
MRZ01	7,86	0,04	0,00	5,93	0,03	0,00	10,08	4,07	0,00
MRZ02	10,75	1,20	0,13	6,93	0,99	0,03	11,63	7,94	3,10
APR01	12,84	6,55	1,90	8,05	4,46	1,41	13,00	11,00	8,20
APR02	13,64	9,98	7,00	9,43	7,28	4,79	13,20	11,20	8,20
MAI01	13,94	11,92	9,60	11,44	9,47	7,51	13,56	11,63	9,69
MAI02	14,46	12,76	9,89	10,80	9,36	7,54	13,56	11,63	9,88
JUN01	13,45	11,93	10,60	10,79	9,78	7,66	13,00	12,00	9,20
JUN02	13,09	10,72	8,18	8,94	7,79	6,46	13,00	12,00	10,00
JUL01	14,49	12,98	10,84	11,39	10,43	8,95	13,76	12,59	10,66
JUL02	14,26	12,84	11,60	11,81	10,66	9,54	13,56	12,59	9,88
AUG01	14,35	13,09	10,85	12,23	11,37	9,22	13,56	12,59	9,88
AUG02	13,76	12,28	10,23	11,57	10,14	8,23	12,79	11,82	8,91
SEP01	12,69	9,92	5,94	10,32	8,65	4,96	12,20	10,00	6,40
SEP02	13,25	9,87	5,68	10,49	8,15	4,73	12,40	10,40	4,20
OKT01	12,54	9,42	3,55	10,18	7,45	2,68	13,56	9,88	7,75
OKT02	10,96	3,80	1,27	9,59	3,12	1,05	11,82	5,81	2,52
NOV01	3,47	0,83	0,05	2,15	0,59	0,00	10,20	2,00	0,00
NOV02	1,58	0,08	0,00	1,21	0,11	0,00	9,00	0,00	0,00
DEZ01	0,10	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00
DEZ02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00

L: leichter Boden, M: mittlerer Boden , S: schwerer Boden

FAT2: FAT der Anspruchsstufe 2, FAT3: FAT der Anspruchsstufe 3

Tabelle 110: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Monat	ohne Windauflage			mit Windauflage			ohne Windauflage		
	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT3_L	FAT3_M	FAT3_S
JAN01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00
JAN02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00
FEB01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,73	0,00	0,00
FEB02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,20	0,00	0,00
MRZ01	1,94	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00	11,63	3,88	0,00
MRZ02	4,07	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00	12,59	6,78	0,97
APR01	8,20	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	14,00	9,20	4,00
APR02	9,00	2,00	0,00	4,00	1,00	0,00	13,20	10,00	6,00
MAI01	10,66	3,10	0,00	4,84	2,13	0,00	13,56	10,66	6,78
MAI02	10,66	3,88	1,16	5,04	1,16	0,00	12,59	10,85	6,20
JUN01	11,00	4,20	0,40	6,00	2,00	0,00	13,00	11,00	7,00
JUN02	10,20	4,20	1,00	5,20	1,40	1,00	12,00	11,00	6,20
JUL01	9,88	5,04	1,16	6,78	3,10	1,16	13,56	9,88	6,98
JUL02	10,66	4,07	2,33	5,81	3,88	1,94	11,82	9,88	6,78
AUG01	11,82	8,14	5,81	6,01	3,88	1,94	13,56	11,04	9,11
AUG02	11,63	6,20	4,07	5,81	3,10	1,94	12,59	11,82	8,72
SEP01	10,00	2,20	0,00	5,00	1,00	0,00	11,00	9,20	4,20
SEP02	11,00	1,00	0,00	3,40	0,20	0,00	12,20	10,20	6,00
OKT01	10,85	2,91	0,00	3,10	1,94	0,00	13,56	11,82	5,81
OKT02	8,72	0,00	0,00	3,88	0,00	0,00	12,59	10,85	2,52
NOV01	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,20	2,20	0,00
NOV02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,20	0,00	0,00
DEZ01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,91	0,00	0,00
DEZ02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,94	0,00	0,00

L: leichter Boden, M: mittlerer Boden , S: schwerer Boden

FAT2: FAT der Anspruchsstufe 2, FAT3: FAT der Anspruchsstufe 3

Tabelle 111: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Geisenheim (Quelle: Eigene Berechnung)

Monat	ohne Windauflage			mit Windauflage			ohne Windauflage		
	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT3_L	FAT3_M	FAT3_S
JAN01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,78	0,97	0,00
JAN02	0,97	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00	10,66	3,29	0,00
FEB01	1,96	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	10,00	3,35	0,00
FEB02	3,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	10,35	4,72	1,00
MRZ01	10,46	2,71	0,00	9,69	2,71	0,00	13,56	10,46	7,56
MRZ02	10,08	4,26	0,97	9,11	3,88	0,97	13,56	10,08	6,78
APR01	13,40	9,40	7,40	13,00	9,40	7,40	15,00	12,40	10,40
APR02	13,00	11,00	9,40	13,00	10,40	8,80	14,00	14,00	12,00
MAI01	13,95	13,56	12,01	13,56	12,59	11,04	14,53	14,53	13,56
MAI02	14,53	13,56	11,63	14,53	12,98	11,63	14,92	14,53	13,56
JUN01	13,00	13,00	11,00	13,00	13,00	10,40	13,40	13,40	13,00
JUN02	14,00	13,40	12,40	14,00	13,00	12,40	15,00	14,00	14,00
JUL01	14,53	14,53	12,98	13,95	13,56	12,59	14,53	15,50	14,53
JUL02	13,95	13,56	12,59	13,95	13,56	12,59	14,53	14,53	13,56
AUG01	13,56	13,56	12,01	13,56	13,56	12,01	14,53	13,56	13,56
AUG02	14,92	14,92	14,92	14,53	14,53	14,53	15,50	15,50	15,50
SEP01	13,40	14,00	12,40	13,00	13,40	12,40	14,00	15,00	14,00
SEP02	14,00	14,00	12,00	13,40	13,40	12,00	14,00	15,00	14,00
OKT01	12,59	12,98	10,08	12,59	12,59	10,08	14,53	14,53	13,56
OKT02	13,56	12,01	10,08	12,59	11,63	10,08	14,53	13,56	13,56
NOV01	9,00	7,40	5,00	9,00	7,40	5,00	12,00	12,00	10,00
NOV02	6,40	2,40	0,00	6,40	2,40	0,00	13,00	12,40	7,00
DEZ01	4,84	0,00	0,00	4,84	0,00	0,00	11,63	10,66	3,68
DEZ02	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	3,29	0,00

L: leichter Boden, M: mittlerer Boden , S: schwerer Boden

FAT2: FAT der Anspruchsstufe 2, FAT3: FAT der Anspruchsstufe 3

Tabelle 112: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Gießen (Quelle: Eigene Berechnung)

Monat	ohne Windauflage			mit Windauflage			ohne Windauflage		
	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT3_L	FAT3_M	FAT3_S
JAN01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,01	0,00	0,00
JAN02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,72	0,00	0,00
FEB01	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,13	1,19	0,00
FEB02	1,85	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	10,00	3,00	0,00
MRZ01	7,17	0,00	0,00	6,01	0,00	0,00	11,63	9,69	4,84
MRZ02	7,94	1,94	0,00	7,75	1,94	0,00	11,63	8,91	4,26
APR01	11,20	6,20	3,20	10,00	6,00	3,00	14,00	12,00	8,00
APR02	11,20	9,20	6,20	11,20	9,00	6,20	13,20	12,20	10,20
MAI01	11,63	9,11	6,98	10,66	8,72	6,98	12,79	12,59	11,63
MAI02	12,79	11,63	8,91	12,59	11,63	8,91	13,56	13,56	12,59
JUN01	12,20	11,00	8,00	12,00	11,00	8,00	13,00	13,00	12,00
JUN02	13,00	13,00	10,00	13,00	12,20	9,20	13,20	13,00	13,00
JUL01	12,59	12,59	9,88	12,59	11,63	9,69	12,79	12,59	11,63
JUL02	13,56	13,56	10,85	13,56	12,79	10,85	14,53	13,56	12,79
AUG01	13,56	13,56	11,82	13,56	13,56	10,85	14,53	14,53	13,56
AUG02	13,56	12,59	10,66	12,59	11,82	10,66	13,76	13,76	12,79
SEP01	13,00	12,00	10,00	12,00	11,00	9,20	14,00	13,00	12,20
SEP02	13,00	12,00	9,00	12,00	11,00	9,00	13,00	13,00	13,00
OKT01	11,63	9,88	6,98	10,66	8,91	6,98	13,56	12,59	10,85
OKT02	10,85	8,72	3,88	10,85	8,72	3,88	13,56	12,79	11,63
NOV01	4,20	3,00	0,00	4,20	3,00	0,00	11,00	10,00	6,00
NOV02	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	10,00	5,00	0,00
DEZ01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,69	1,16	0,00
DEZ02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,94	0,00	0,00

L: leichter Boden, M: mittlerer Boden , S: schwerer Boden

FAT2: FAT der Anspruchsstufe 2, FAT3: FAT der Anspruchsstufe 3

Tabelle 113: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Lüsewitz (Quelle: Eigene Berechnung)

Monat	ohne Windauflage			mit Windauflage			ohne Windauflage		
	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT3_L	FAT3_M	FAT3_S
JAN01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,84	0,00	0,00
JAN02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,62	0,00	0,00
FEB01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20	0,00	0,00
FEB02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,60	0,00	0,00
MRZ01	4,46	0,00	0,00	3,49	0,00	0,00	12,59	5,04	1,16
MRZ02	7,75	0,00	0,00	6,98	0,00	0,00	12,79	8,72	3,49
APR01	12,00	6,60	1,60	6,20	3,00	0,60	12,60	12,00	10,00
APR02	12,00	6,60	1,60	6,20	3,00	0,60	12,60	12,00	10,00
MAI01	12,59	6,98	2,52	9,30	5,62	2,52	13,56	12,59	9,30
MAI02	12,79	10,85	7,17	8,33	7,56	5,43	14,73	13,37	12,21
JUN01	12,00	9,60	4,20	9,60	8,20	3,60	13,00	12,60	11,60
JUN02	11,60	6,60	4,00	9,20	6,20	4,00	12,60	11,40	7,60
JUL01	12,40	9,11	6,39	9,88	7,94	4,84	13,18	12,40	10,08
JUL02	9,69	6,59	4,84	9,30	6,59	4,84	11,24	8,91	7,56
AUG01	14,34	10,85	10,46	12,59	10,85	10,46	14,73	15,11	13,56
AUG02	12,79	8,91	7,17	11,24	8,14	6,39	14,53	13,76	11,63
SEP01	11,60	6,60	4,00	7,60	5,00	3,40	12,00	11,00	9,20
SEP02	11,20	11,40	7,40	8,60	8,20	5,80	14,00	13,60	12,40
OKT01	7,17	4,65	2,13	5,04	3,49	2,13	10,27	9,49	7,36
OKT02	10,08	5,23	0,00	6,01	2,33	0,00	13,18	11,04	6,20
NOV01	1,00	0,60	0,00	0,60	0,00	0,00	9,60	0,60	0,60
NOV02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00
DEZ01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,39	0,00	0,00
DEZ02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,59	0,00	0,00

L: leichter Boden, M: mittlerer Boden , S: schwerer Boden

FAT2: FAT der Anspruchsstufe 2, FAT3: FAT der Anspruchsstufe 3

Tabelle 114: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Bad Hersfeld (Quelle: Eigene Berechnung)

Monat	ohne Windauflage			mit Windauflage			ohne Windauflage		
	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT3_L	FAT3_M	FAT3_S
JAN01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,81	0,00	0,00
JAN02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20	0,00	0,00
FEB01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,15	0,97	0,00
FEB02	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	8,20	2,14	0,00
MRZ01	4,84	0,00	0,00	4,84	0,00	0,00	9,88	5,23	1,94
MRZ02	7,94	0,97	0,00	6,98	0,97	0,00	11,63	7,94	3,10
APR01	12,00	7,00	3,20	11,00	6,20	3,20	13,20	12,00	9,20
APR02	12,20	8,00	4,20	11,40	7,00	4,20	13,00	12,00	10,00
MAI01	12,59	9,69	6,01	12,59	9,69	6,01	13,56	12,59	10,66
MAI02	11,63	8,91	6,20	11,63	8,91	6,20	13,56	12,79	10,66
JUN01	13,00	11,00	9,00	13,00	11,00	9,00	14,00	13,00	12,20
JUN02	13,00	12,20	11,20	13,00	12,20	11,20	14,00	13,00	13,00
JUL01	12,59	11,63	9,69	12,59	11,63	8,91	13,56	13,56	11,63
JUL02	12,59	10,85	8,91	11,82	10,85	8,91	13,56	11,63	10,85
AUG01	12,59	11,04	9,69	12,59	11,04	8,91	13,56	12,59	11,82
AUG02	13,56	12,59	11,63	12,79	12,59	10,85	14,53	13,56	12,59
SEP01	11,20	12,00	7,20	11,00	10,20	7,00	13,00	13,00	12,00
SEP02	12,00	10,20	7,00	12,00	10,20	7,00	13,20	13,00	11,20
OKT01	10,66	8,14	4,84	10,66	7,94	4,84	12,59	11,82	9,69
OKT02	9,88	4,26	0,97	9,88	4,26	0,97	12,59	12,59	6,20
NOV01	3,20	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	10,20	7,20	0,40
NOV02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00
DEZ01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00
DEZ02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,01	0,00	0,00

L: leichter Boden, M: mittlerer Boden , S: schwerer Boden

FAT2: FAT der Anspruchsstufe 2, FAT3: FAT der Anspruchsstufe 3

Tabelle 115: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Sankt Peter-Ording (Quelle: Eigene Berechnung)

Monat	ohne Windauflage			mit Windauflage			ohne Windauflage		
	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT3_L	FAT3_M	FAT3_S
JAN01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,78	0,00	0,00
JAN02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,81	0,00	0,00
FEB01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	0,00	0,00
FEB02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,80	0,00	0,00
MRZ01	2,33	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	11,63	3,88	0,00
MRZ02	4,84	0,00	0,00	1,94	0,00	0,00	12,59	6,78	0,97
APR01	7,00	1,00	0,00	2,40	0,40	0,00	12,00	7,40	4,40
APR02	10,00	1,00	0,00	4,00	0,00	0,00	12,00	10,00	5,00
MAI01	10,08	5,23	2,33	3,88	1,36	0,39	13,95	11,04	7,75
MAI02	11,43	6,01	2,33	1,94	0,97	0,39	12,98	11,43	9,11
JUN01	12,00	8,00	5,00	4,00	3,00	2,40	13,00	12,00	9,40
JUN02	7,40	4,40	1,40	3,00	1,40	1,00	11,40	7,80	5,40
JUL01	8,72	3,68	0,39	2,91	1,94	0,39	11,04	8,72	6,20
JUL02	8,72	3,29	0,39	2,91	0,97	0,00	12,01	9,11	4,84
AUG01	7,75	2,33	0,39	3,29	1,36	0,00	10,46	7,17	3,29
AUG02	7,75	2,33	0,00	3,88	1,36	0,00	10,66	7,75	4,26
SEP01	6,80	1,00	0,00	3,40	0,00	0,00	10,00	5,80	3,40
SEP02	7,40	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	10,00	5,40	0,40
OKT01	3,49	0,00	0,00	1,94	0,00	0,00	9,69	3,88	0,39
OKT02	0,97	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00
NOV01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	0,00	0,00
NOV02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,40	0,00	0,00
DEZ01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,23	0,00	0,00
DEZ02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,23	0,00	0,00

L: leichter Boden, M: mittlerer Boden , S: schwerer Boden

FAT2: FAT der Anspruchsstufe 2, FAT3: FAT der Anspruchsstufe 3

Tabelle 116: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Teterow (Quelle: Eigene Berechnung)

Monat	ohne Windauflage			mit Windauflage			ohne Windauflage		
	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT3_L	FAT3_M	FAT3_S
JAN01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,84	0,00	0,00
JAN02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00
FEB01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,53	0,00	0,00
FEB02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,76	1,00	0,00
MRZ01	2,91	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	10,85	3,88	0,00
MRZ02	4,07	0,00	0,00	1,94	0,00	0,00	11,82	4,07	1,16
APR01	10,40	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	14,00	12,00	7,20
APR02	12,20	9,00	2,60	6,20	6,00	2,00	14,00	12,20	11,20
MAI01	11,63	7,75	6,01	7,75	6,78	4,26	13,56	12,59	10,66
MAI02	13,56	12,59	9,11	9,69	8,14	6,20	13,76	13,76	12,01
JUN01	11,20	10,00	7,00	9,00	8,00	5,00	13,00	12,20	10,20
JUN02	13,00	8,80	4,40	9,20	7,20	3,60	14,00	14,00	12,00
JUL01	13,76	12,79	10,85	9,69	8,91	6,20	13,95	13,76	13,56
JUL02	12,79	11,63	8,91	9,69	8,72	6,98	13,56	12,79	11,82
AUG01	13,56	11,63	8,72	9,69	7,94	7,94	14,53	13,76	11,82
AUG02	13,56	11,82	9,69	8,33	7,75	5,23	13,76	13,56	11,82
SEP01	10,00	7,20	6,20	7,00	4,20	3,40	11,20	10,20	8,00
SEP02	10,00	6,20	0,20	6,00	3,20	0,20	13,00	11,20	8,00
OKT01	11,82	9,30	2,71	5,81	2,33	1,16	14,53	14,53	12,59
OKT02	8,33	2,52	0,19	3,88	1,16	0,19	13,76	12,59	7,17
NOV01	3,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	12,20	7,20	0,40
NOV02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	1,00	0,00
DEZ01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,72	0,00	0,00
DEZ02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,01	0,00	0,00

L: leichter Boden, M: mittlerer Boden , S: schwerer Boden

FAT2: FAT der Anspruchsstufe 2, FAT3: FAT der Anspruchsstufe 3

Tabelle 117: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Fehmarn (Quelle: Eigene Berechnung)

Monat	ohne Windauflage			mit Windauflage			ohne Windauflage		
	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT3_L	FAT3_M	FAT3_S
JAN01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00
JAN02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,72	0,00	0,00
FEB01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,99	0,00	0,00
FEB02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
MRZ01	1,16	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	10,85	3,88	0,00
MRZ02	4,84	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00	12,59	6,01	0,97
APR01	6,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	12,20	8,00	4,00
APR02	10,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	12,20	10,00	5,00
MAI01	8,72	2,13	0,00	3,10	0,97	0,00	13,56	9,11	6,78
MAI02	9,88	6,01	0,97	3,88	1,94	0,00	11,63	9,88	6,59
JUN01	11,20	7,00	4,20	5,00	4,00	2,00	14,00	12,00	9,00
JUN02	11,00	8,00	4,00	4,00	3,20	1,20	12,20	11,00	10,00
JUL01	9,88	2,91	0,19	3,10	1,16	0,00	12,79	9,88	4,07
JUL02	10,66	4,84	2,13	4,07	3,88	0,97	11,63	9,88	6,20
AUG01	11,63	5,81	1,94	4,07	2,13	0,97	13,56	11,63	7,75
AUG02	10,85	5,04	0,97	3,88	2,91	0,97	12,79	11,82	7,75
SEP01	10,00	4,20	2,00	4,00	2,20	0,00	13,00	11,00	5,40
SEP02	11,20	4,00	0,00	3,20	1,00	0,00	13,20	12,00	8,00
OKT01	9,69	2,13	0,00	2,91	0,00	0,00	12,59	10,85	5,04
OKT02	5,04	0,00	0,00	1,94	0,00	0,00	11,63	6,98	0,19
NOV01	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,20	2,00	0,00
NOV02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,20	0,00	0,00
DEZ01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,91	0,00	0,00
DEZ02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,72	0,00	0,00

L: leichter Boden, M: mittlerer Boden , S: schwerer Boden

FAT2: FAT der Anspruchsstufe 2, FAT3: FAT der Anspruchsstufe 3

Tabelle 118: Verfügbare Feldarbeitstage (FAT) in Dörnick (Quelle: Eigene Berechnung)

Monat	ohne Windauflage			mit Windauflage			ohne Windauflage		
	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT2_L	FAT2_M	FAT2_S	FAT3_L	FAT3_M	FAT3_S
JAN01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00
JAN02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,01	0,00	0,00
FEB01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40	0,00	0,00
FEB02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	1,00	0,00
MRZ01	1,94	0,00	0,00	1,16	0,00	0,00	12,01	5,81	0,19
MRZ02	6,78	0,00	0,00	6,78	0,00	0,00	11,63	7,94	4,07
APR01	7,80	3,20	1,00	6,00	3,20	0,20	13,00	8,80	4,60
APR02	12,20	7,20	2,80	8,40	4,60	2,40	14,00	13,00	10,20
MAI01	13,56	10,85	7,75	10,66	7,94	6,01	13,76	13,56	11,82
MAI02	12,01	9,88	5,23	10,66	8,14	5,23	13,18	12,01	11,04
JUN01	13,00	11,20	8,40	11,20	11,00	8,40	13,00	13,00	12,00
JUN02	9,40	4,40	2,40	8,20	4,40	2,40	11,00	9,40	5,60
JUL01	10,85	4,46	2,13	10,66	4,46	2,13	11,82	10,85	5,23
JUL02	10,66	6,01	3,10	8,72	5,81	3,10	12,59	11,63	6,98
AUG01	11,82	8,33	5,04	11,63	8,33	5,04	13,56	11,82	10,66
AUG02	8,91	3,49	2,33	8,91	3,49	2,33	12,59	8,91	4,46
SEP01	11,20	6,20	1,20	10,00	6,00	1,00	12,20	12,00	9,00
SEP02	9,00	2,60	0,00	9,00	2,60	0,00	13,20	11,00	7,00
OKT01	7,75	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00	12,59	5,43	0,39
OKT02	4,07	0,00	0,00	4,07	0,00	0,00	10,66	2,91	0,00
NOV01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,20	0,00	0,00
NOV02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40	0,00	0,00
DEZ01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,17	0,00	0,00
DEZ02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20	0,00	0,00

L: leichter Boden, M: mittlerer Boden , S: schwerer Boden

FAT2: FAT der Anspruchsstufe 2, FAT3: FAT der Anspruchsstufe 3

Tabelle 119: Möglicher Aussaatumfang für Winterweizen nach Saatzeitspannen ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeit-spanne	Aussaatumfang (ha) nach Anbauverfahren, Mechanisierung					
		wendend, klein	nichtwendend, klein	direkt, klein	wendend, groß	nichtwendend, groß	direkt, groß
Sankt Peter-Ording	sehr früh	19,75	12,90	22,86	44,44	25,00	40,00
	früh	49,38	32,26	57,14	111,11	62,50	100,00
	optimal	59,26	38,71	68,57	133,33	75,00	120,00
	spät	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fehmarn	sehr früh	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
	früh	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
	optimal	118,52	77,42	137,14	266,67	150,00	240,00
	spät	39,51	25,81	45,71	88,89	50,00	80,00
Boltenhagen	sehr früh	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
	früh	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
	optimal	128,40	83,87	148,57	288,89	162,50	260,00
	spät	49,38	32,26	57,14	111,11	62,50	100,00
Teterow	sehr früh	59,26	38,71	68,57	133,33	75,00	120,00
	früh	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
	optimal	138,27	90,32	160,00	311,11	175,00	280,00
	spät	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
Lüsewitz	sehr früh	88,89	58,06	102,86	200,00	112,50	180,00
	früh	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
	optimal	98,77	64,52	114,29	222,22	125,00	200,00
	spät	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
Barth	sehr früh	59,26	38,71	68,57	133,33	75,00	120,00
	früh	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
	optimal	118,52	77,42	137,14	266,67	150,00	240,00
	spät	29,63	19,35	34,29	66,67	37,50	60,00
Dörnick	sehr früh	59,26	38,71	68,57	133,33	75,00	120,00
	früh	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
	optimal	88,89	58,06	102,86	200,00	112,50	180,00
	spät	19,75	12,90	22,86	44,44	25,00	40,00
Gießen	sehr früh	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
	früh	128,40	83,87	148,57	288,89	162,50	260,00
	optimal	158,02	103,23	182,86	355,56	200,00	320,00
	spät	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
Bad Hersfeld	sehr früh	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
	früh	108,64	70,97	125,71	244,44	137,50	220,00
	optimal	148,15	96,77	171,43	333,33	187,50	300,00
	spät	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
Geisenheim	sehr früh	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
	früh	128,40	83,87	148,57	288,89	162,50	260,00
	optimal	167,90	109,68	194,29	377,78	212,50	340,00
	spät	88,89	58,06	102,86	200,00	112,50	180,00

Tabelle 120: Möglicher Aussaatumfang für Winterweizen nach Saatzeitspannen mit Windauf-
lage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeit- spanne	Aussaatumfang (ha) nach Anbauverfahren, Mechanisierung					
		wendend, klein	nichtwendend, klein	direkt, klein	wendend, groß	nichtwendend, groß	direkt, groß
Sankt Peter- Ording	sehr früh	9,88	6,45	11,43	22,22	12,50	20,00
	früh	9,88	6,45	11,43	22,22	12,50	20,00
	optimal	29,63	19,35	34,29	66,67	37,50	60,00
	spät	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fehmarn	sehr früh	19,75	12,90	22,86	44,44	25,00	40,00
	früh	19,75	12,90	22,86	44,44	25,00	40,00
	optimal	39,51	25,81	45,71	88,89	50,00	80,00
	spät	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Boltenhagen	sehr früh	19,75	12,90	22,86	44,44	25,00	40,00
	früh	29,63	19,35	34,29	66,67	37,50	60,00
	optimal	49,38	32,26	57,14	111,11	62,50	100,00
	spät	19,75	12,90	22,86	44,44	25,00	40,00
Teterow	sehr früh	29,63	19,35	34,29	66,67	37,50	60,00
	früh	39,51	25,81	45,71	88,89	50,00	80,00
	optimal	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
	spät	9,88	6,45	11,43	22,22	12,50	20,00
Lüsewitz	sehr früh	59,26	38,71	68,57	133,33	75,00	120,00
	früh	59,26	38,71	68,57	133,33	75,00	120,00
	optimal	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
	spät	29,63	19,35	34,29	66,67	37,50	60,00
Barth	sehr früh	59,26	38,71	68,57	133,33	75,00	120,00
	früh	49,38	32,26	57,14	111,11	62,50	100,00
	optimal	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
	spät	19,75	12,90	22,86	44,44	25,00	40,00
Dörnick	sehr früh	39,51	25,81	45,71	88,89	50,00	80,00
	früh	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
	optimal	88,89	58,06	102,86	200,00	112,50	180,00
	spät	9,88	6,45	11,43	22,22	12,50	20,00
Gießen	sehr früh	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
	früh	118,52	77,42	137,14	266,67	150,00	240,00
	optimal	148,15	96,77	171,43	333,33	187,50	300,00
	spät	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
Bad Hersfeld	sehr früh	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
	früh	108,64	70,97	125,71	244,44	137,50	220,00
	optimal	138,27	90,32	160,00	311,11	175,00	280,00
	spät	69,14	45,16	80,00	155,56	87,50	140,00
Geisenheim	sehr früh	79,01	51,61	91,43	177,78	100,00	160,00
	früh	128,40	83,87	148,57	288,89	162,50	260,00
	optimal	167,90	109,68	194,29	377,78	212,50	340,00
	spät	88,89	58,06	102,86	200,00	112,50	180,00

Tabelle 121: Möglicher Aussaatumfang für Sommergerste nach Saatzeitspannen ohne Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeit-spanne	Aussaatumfang (ha) nach Anbauverfahren, Mechanisierung					
		wendend, klein	nichtwendend, klein	direkt, klein	wendend, groß	nichtwendend, groß	direkt, groß
Sankt Peter-Ording	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	88,89	59,02	102,86	200,00	112,50	180,00
	spät	19,75	13,11	22,86	44,44	25,00	40,00
Fehmarn	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	69,14	45,90	80,00	155,56	87,50	140,00
	spät	19,75	13,11	22,86	44,44	25,00	40,00
Boltenhagen	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	69,14	45,90	80,00	155,56	87,50	140,00
	spät	39,51	26,23	45,71	88,89	50,00	80,00
Teterow	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	98,77	65,57	114,29	222,22	125,00	200,00
	spät	39,51	26,23	45,71	88,89	50,00	80,00
Lüsewitz	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	118,52	78,69	137,14	266,67	150,00	240,00
	spät	49,38	32,79	57,14	111,11	62,50	100,00
Barth	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	118,52	78,69	137,14	266,67	150,00	240,00
	spät	39,51	26,23	45,71	88,89	50,00	80,00
Dörnick	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	88,89	59,02	102,86	200,00	112,50	180,00
	spät	39,51	26,23	45,71	88,89	50,00	80,00
Gießen	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	167,90	111,48	194,29	377,78	212,50	340,00
	spät	49,38	32,79	57,14	111,11	62,50	100,00
Bad Hersfeld	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	118,52	78,69	137,14	266,67	150,00	240,00
	spät	49,38	32,79	57,14	111,11	62,50	100,00
Geisenheim	früh	9,88	6,56	11,43	22,22	12,50	20,00
	optimal	207,41	137,70	240,00	466,67	262,50	420,00
	spät	69,14	45,90	80,00	155,56	87,50	140,00

Tabelle 122: Möglicher Aussaatumfang für Sommergerste nach Saatzeitspannen mit Windauf-
lage (Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeit- spanne	Aussaatumfang (ha) nach Anbauverfahren, Mechanisierung					
		wendend, klein	nichtwendend, klein	direkt, klein	wendend, groß	nichtwendend, groß	direkt, groß
Sankt Peter- Ording	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	29,63	19,67	34,29	66,67	37,50	60,00
	spät	9,88	6,56	11,43	22,22	12,50	20,00
Fehmarn	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	29,63	19,67	34,29	66,67	37,50	60,00
	spät	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Boltenhagen	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	29,63	19,67	34,29	66,67	37,50	60,00
	spät	9,88	6,56	11,43	22,22	12,50	20,00
Teterow	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	39,51	26,23	45,71	88,89	50,00	80,00
	spät	19,75	13,11	22,86	44,44	25,00	40,00
Lüsewitz	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	108,64	72,13	125,71	244,44	137,50	220,00
	spät	29,63	19,67	34,29	66,67	37,50	60,00
Barth	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	69,14	45,90	80,00	155,56	87,50	140,00
	spät	19,75	13,11	22,86	44,44	25,00	40,00
Dörnick	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	79,01	52,46	91,43	177,78	100,00	160,00
	spät	29,63	19,67	34,29	66,67	37,50	60,00
Gießen	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	148,15	98,36	171,43	333,33	187,50	300,00
	spät	49,38	32,79	57,14	111,11	62,50	100,00
Bad Hersfeld	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	118,52	78,69	137,14	266,67	150,00	240,00
	spät	39,51	26,23	45,71	88,89	50,00	80,00
Geisenheim	früh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	187,65	124,59	217,14	422,22	237,50	380,00
	spät	59,26	39,34	68,57	133,33	75,00	120,00

Tabelle 123: Möglicher Aussaatumfang für Mais nach Saatzeitspannen ohne Windauflage
(Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeit- spanne	Aussaatumfang (ha) nach Anbauverfahren, Mechanisierung			
		wendend, klein	nichtwendend, klein	wendend, groß	nichtwendend, groß
Sankt Peter-Ording	früh	57,14	57,14	180,65	180,65
	optimal	81,63	81,63	258,06	258,06
	spät	81,63	81,63	258,06	258,06
Fehmarn	früh	48,98	48,98	154,84	154,84
	optimal	81,63	81,63	258,06	258,06
	spät	65,31	65,31	206,45	206,45
Boltenhagen	früh	65,31	65,31	206,45	206,45
	optimal	73,47	73,47	232,26	232,26
	spät	81,63	81,63	258,06	258,06
Teterow	früh	81,63	81,63	258,06	258,06
	optimal	106,12	106,12	335,48	335,48
	spät	81,63	81,63	258,06	258,06
Lüsewitz	früh	97,96	97,96	309,68	309,68
	optimal	106,12	106,12	335,48	335,48
	spät	106,12	106,12	335,48	335,48
Barth	früh	89,80	89,80	283,87	283,87
	optimal	97,96	97,96	309,68	309,68
	spät	89,80	89,80	283,87	283,87
Dörnick	früh	65,31	65,31	206,45	206,45
	optimal	97,96	97,96	309,68	309,68
	spät	106,12	106,12	335,48	335,48
Gießen	früh	89,80	89,80	283,87	283,87
	optimal	89,80	89,80	283,87	283,87
	spät	89,80	89,80	283,87	283,87
Bad Hersfeld	früh	89,80	89,80	283,87	283,87
	optimal	97,96	97,96	309,68	309,68
	spät	97,96	97,96	309,68	309,68
Geisenheim	früh	106,12	106,12	335,48	335,48
	optimal	106,12	106,12	335,48	335,48
	spät	114,29	114,29	361,29	361,29

Tabelle 124: Möglicher Aussaatumfang für Mais nach Saatzeitspannen mit Windauflage
(Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeit- spanne	Aussaatumfang (ha) nach Anbauverfahren, Mechanisierung			
		wendend, klein	nichtwendend, klein	wendend, groß	nichtwendend, groß
Sankt Peter-Ording	früh	16,33	16,33	51,61	51,61
	optimal	32,65	32,65	103,23	103,23
	spät	24,49	24,49	77,42	77,42
Fehmarn	früh	24,49	24,49	77,42	77,42
	optimal	32,65	32,65	103,23	103,23
	spät	24,49	24,49	77,42	77,42
Boltenhagen	früh	24,49	24,49	77,42	77,42
	optimal	32,65	32,65	103,23	103,23
	spät	40,82	40,82	129,03	129,03
Teterow	früh	40,82	40,82	129,03	129,03
	optimal	48,98	48,98	154,84	154,84
	spät	48,98	48,98	154,84	154,84
Lüsewitz	früh	48,98	48,98	154,84	154,84
	optimal	73,47	73,47	232,26	232,26
	spät	73,47	73,47	232,26	232,26
Barth	früh	48,98	48,98	154,84	154,84
	optimal	57,14	57,14	180,65	180,65
	spät	65,31	65,31	206,45	206,45
Dörnick	früh	48,98	48,98	154,84	154,84
	optimal	65,31	65,31	206,45	206,45
	spät	81,63	81,63	258,06	258,06
Gießen	früh	81,63	81,63	258,06	258,06
	optimal	89,80	89,80	283,87	283,87
	spät	81,63	81,63	258,06	258,06
Bad Hersfeld	früh	89,80	89,80	283,87	283,87
	optimal	89,80	89,80	283,87	283,87
	spät	97,96	97,96	309,68	309,68
Geisenheim	früh	106,12	106,12	335,48	335,48
	optimal	106,12	106,12	335,48	335,48
	spät	106,12	106,12	335,48	335,48

Tabelle 125: Möglicher Aussaatumfang für Zuckerrübe nach Saatzeitspannen ohne Windauf-
lage (Quelle: Eigene Berechnung)

		Aussaatumfang (ha) nach Anbauverfahren, Mechanisierung			
Station	Saatzeit- spanne	wendend, klein	nichtwendend, klein	wendend, groß	nichtwendend, groß
Sankt Peter-Ording	früh	16,33	16,33	51,61	51,61
	optimal	48,98	48,98	154,84	154,84
	spät	65,31	65,31	206,45	206,45
	sehr spät	16,33	16,33	51,61	51,61
Fehmarn	früh	16,33	16,33	51,61	51,61
	optimal	48,98	48,98	154,84	154,84
	spät	65,31	65,31	206,45	206,45
	sehr spät	16,33	16,33	51,61	51,61
Boltenhagen	früh	16,33	16,33	51,61	51,61
	optimal	65,31	65,31	206,45	206,45
	spät	89,80	89,80	283,87	283,87
	sehr spät	16,33	16,33	51,61	51,61
Teterow	früh	8,16	8,16	25,81	25,81
	optimal	65,31	65,31	206,45	206,45
	spät	97,96	97,96	309,68	309,68
	sehr spät	40,82	40,82	129,03	129,03
Lüsewitz	früh	57,14	57,14	180,65	180,65
	optimal	81,63	81,63	258,06	258,06
	spät	97,96	97,96	309,68	309,68
	sehr spät	40,82	40,82	129,03	129,03
Barth	früh	24,49	24,49	77,42	77,42
	optimal	89,80	89,80	283,87	283,87
	spät	89,80	89,80	283,87	283,87
	sehr spät	24,49	24,49	77,42	77,42
Dörnick	früh	40,82	40,82	129,03	129,03
	optimal	65,31	65,31	206,45	206,45
	spät	81,63	81,63	258,06	258,06
	sehr spät	32,65	32,65	103,23	103,23
Gießen	früh	48,98	48,98	154,84	154,84
	optimal	89,80	89,80	283,87	283,87
	spät	97,96	97,96	309,68	309,68
	sehr spät	32,65	32,65	103,23	103,23
Bad Hersfeld	früh	24,49	24,49	77,42	77,42
	optimal	89,80	89,80	283,87	283,87
	spät	89,80	89,80	283,87	283,87
	sehr spät	24,49	24,49	77,42	77,42
Geisenheim	früh	48,98	48,98	154,84	154,84
	optimal	106,12	106,12	335,48	335,48
	spät	106,12	106,12	335,48	335,48
	sehr spät	32,65	32,65	103,23	103,23

Tabelle 126: Möglicher Aussaatumfang für Zuckerrübe nach Saatzeitspannen mit Windauflage
(Quelle: Eigene Berechnung)

Station	Saatzeit- spanne	Aussaatumfang (ha) nach Anbauverfahren, Mechanisierung			
		wendend, klein	nichtwendend, klein	wendend, groß	nichtwendend, groß
Sankt Peter-Ording	früh	8,16	8,16	25,81	25,81
	optimal	16,33	16,33	51,61	51,61
	spät	24,49	24,49	77,42	77,42
	sehr spät	0,00	0,00	0,00	0,00
Fehmarn	früh	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	16,33	16,33	51,61	51,61
	spät	32,65	32,65	103,23	103,23
	sehr spät	8,16	8,16	25,81	25,81
Boltenhagen	früh	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	24,49	24,49	77,42	77,42
	spät	32,65	32,65	103,23	103,23
	sehr spät	8,16	8,16	25,81	25,81
Teterow	früh	0,00	0,00	0,00	0,00
	optimal	40,82	40,82	129,03	129,03
	spät	40,82	40,82	129,03	129,03
	sehr spät	16,33	16,33	51,61	51,61
Lüsewitz	früh	32,65	32,65	103,23	103,23
	optimal	48,98	48,98	154,84	154,84
	spät	65,31	65,31	206,45	206,45
	sehr spät	24,49	24,49	77,42	77,42
Barth	früh	8,16	8,16	25,81	25,81
	optimal	48,98	48,98	154,84	154,84
	spät	65,31	65,31	206,45	206,45
	sehr spät	16,33	16,33	51,61	51,61
Dörnick	früh	24,49	24,49	77,42	77,42
	optimal	65,31	65,31	206,45	206,45
	spät	73,47	73,47	232,26	232,26
	sehr spät	16,33	16,33	51,61	51,61
Gießen	früh	40,82	40,82	129,03	129,03
	optimal	81,63	81,63	258,06	258,06
	spät	89,80	89,80	283,87	283,87
	sehr spät	24,49	24,49	77,42	77,42
Bad Hersfeld	früh	24,49	24,49	77,42	77,42
	optimal	81,63	81,63	258,06	258,06
	spät	89,80	89,80	283,87	283,87
	sehr spät	24,49	24,49	77,42	77,42
Geisenheim	früh	40,82	40,82	129,03	129,03
	optimal	97,96	97,96	309,68	309,68
	spät	106,12	106,12	335,48	335,48
	sehr spät	32,65	32,65	103,23	103,23

Tabelle 127: Umfänge der Arbeitsgänge für Sommergerste (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Sommergerste, wendend	Bodenprobe (ha)	Mineraldünger ausbringen 1 (ha)	Pflügen (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Eggen mit Saatbettkombination (ha)	Säen mit Sämaschine (ha)	Mineraldünger ausbringen 2 (ha)	Unkautbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Mähdrusch (ha)	Korntransport, Lagern und Trocknen (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Stoppelbearbeitung, flach, schräg (ha)	Stoppelbearbeitung, tief, schräg (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	3000,00	387,50	57,41	224,00	98,88	60,52	60,52	272,73	272,73	292,68	292,68	71,30	71,30	108,50	108,50	113,04	57,41
Gießen, klein, Wind	3000,00	387,50	57,41	224,00	98,88	60,52	60,52	272,73	272,73	292,68	292,68	71,30	71,30	108,50	108,50	113,04	57,41
Gießen, groß	6000,00	1033,33	111,86	1120,00	238,96	127,10	127,10	444,44	444,44	444,44	444,44	140,00	140,00	246,59	246,59	236,36	111,86
Gießen, groß, Wind	6000,00	1033,33	111,86	1120,00	238,96	127,10	127,10	444,44	444,44	444,44	444,44	140,00	140,00	246,59	246,59	236,36	111,86
Teterow, klein	3000,00	393,96	58,23	224,00	40,09	31,00	31,00	272,73	272,73	292,68	292,68	46,30	46,30	108,50	108,50	86,96	31,00
Teterow, klein, Wind	3000,00	393,96	58,23	224,00	40,09	19,14	19,14	272,73	272,73	292,68	292,68	46,30	46,30	108,50	108,50	86,96	19,14
Teterow, groß	6000,00	1050,56	113,45	1120,00	96,88	65,10	65,10	444,44	444,44	444,44	444,44	90,91	90,91	246,59	246,59	181,82	65,10
Teterow, groß, Wind	6000,00	1050,56	113,45	1120,00	96,88	37,80	37,80	444,44	444,44	444,44	444,44	90,91	90,91	246,59	246,59	181,82	37,80
Boltenhagen, klein	3000,00	361,67	53,31	224,00	26,72	31,00	31,00	234,29	234,29	292,68	292,68	25,93	25,93	94,55	94,55	86,96	25,93
Boltenhagen, klein, Wind	3000,00	361,67	53,31	224,00	26,72	9,57	9,57	234,29	234,29	292,68	292,68	25,93	25,93	94,55	94,55	86,96	9,57
Boltenhagen, groß	6000,00	964,44	103,87	1120,00	64,58	65,10	65,10	385,88	385,88	444,44	444,44	50,91	50,91	214,89	214,89	181,82	50,91
Boltenhagen, groß, Wind	6000,00	964,44	103,87	1120,00	64,58	18,90	18,90	385,88	385,88	444,44	444,44	50,91	50,91	214,89	214,89	181,82	18,90

Tabelle 128: Umfänge der Arbeitsgänge für Sommergerste (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Sommergerste, nichtwendend	Bodenprobe (ha)	Mineraldünger ausbringen 1 (ha)	Tiefgrubbern (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	Säen mit Kreiselegge und Sämaschine (ha)	Mineraldünger ausbringen 2 (ha)	Unkautbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 3 (ha)	Mähdrusch (ha)	Korntransport, Lagern und Trocknen (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Stoppelbearbeitung, flach, schräg (ha)	Stoppelbearbeitung, tief, schräg (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	3000,00	387,50	99,54	224,00	204,82	43,53	43,53	272,73	272,73	292,68	292,68	71,30	71,30	108,50	108,50	113,04	43,53
Gießen, klein, Wind	3000,00	387,50	99,54	224,00	204,82	43,53	43,53	272,73	272,73	292,68	292,68	71,30	71,30	108,50	108,50	113,04	43,53
Gießen, groß	6000,00	1033,33	208,65	1120,00	337,35	81,47	81,47	444,44	444,44	444,44	444,44	140,00	140,00	271,25	271,25	260,00	81,47
Gießen, groß, Wind	6000,00	1033,33	208,65	1120,00	337,35	81,47	81,47	444,44	444,44	444,44	444,44	140,00	140,00	271,25	271,25	260,00	81,47
Teterow, klein	3000,00	393,96	100,96	224,00	83,04	22,29	22,29	272,73	272,73	292,68	292,68	46,30	46,30	108,50	108,50	86,96	22,29
Teterow, klein, Wind	3000,00	393,96	100,96	224,00	83,04	12,70	12,70	272,73	272,73	292,68	292,68	46,30	46,30	108,50	108,50	86,96	12,70
Teterow, groß	6000,00	1050,56	211,63	1120,00	136,76	41,73	41,73	444,44	444,44	444,44	444,44	90,91	90,91	271,25	271,25	200,00	41,73
Teterow, groß, Wind	6000,00	1050,56	211,63	1120,00	136,76	22,46	22,46	444,44	444,44	444,44	444,44	90,91	90,91	271,25	271,25	200,00	22,46
Boltenhagen, klein	3000,00	361,67	92,43	224,00	55,36	22,29	22,29	234,29	234,29	292,68	292,68	25,93	25,93	94,55	94,55	86,96	22,29
Boltenhagen, klein, Wind	3000,00	361,67	92,43	224,00	55,36	6,35	6,35	234,29	234,29	292,68	292,68	25,93	25,93	94,55	94,55	86,96	6,35
Boltenhagen, groß	6000,00	964,44	193,75	1120,00	91,18	41,73	41,73	385,88	385,88	444,44	444,44	50,91	50,91	236,38	236,38	200,00	41,73
Boltenhagen, groß, Wind	6000,00	964,44	193,75	1120,00	91,18	11,23	11,23	385,88	385,88	444,44	444,44	50,91	50,91	236,38	236,38	200,00	11,23

Tabelle 129: Umfänge der Arbeitsgänge für Sommergerste (Direktsaat), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Sommergerste, Direktsaat	Bodenprobe (ha)	Mineraldünger ausbringen 1 (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	Säen mit Kreiselege und Sämaschine (ha)	Mineraldünger ausbringen 2 (ha)	Unkautbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 3 (ha)	Mähdrusch (ha)	Korntransport, Lagern und Trocknen (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	3000,00	387,50	224,00	204,82	67,61	67,61	272,73	272,73	292,68	292,68	71,30	71,30	723,33	67,61
Gießen, klein, Wind	3000,00	387,50	224,00	204,82	67,61	67,61	272,73	272,73	292,68	292,68	71,30	71,30	723,33	67,61
Gießen, groß	6000,00	1033,33	1120,00	337,35	117,69	117,69	444,44	444,44	444,44	444,44	140,00	140,00	2712,50	117,69
Gießen, groß, Wind	6000,00	1033,33	1120,00	337,35	117,69	117,69	444,44	444,44	444,44	444,44	140,00	140,00	2712,50	117,69
Teterow, klein	3000,00	393,96	224,00	83,04	34,63	34,63	272,73	272,73	292,68	292,68	46,30	46,30	723,33	34,63
Teterow, klein, Wind	3000,00	393,96	224,00	83,04	22,14	22,14	272,73	272,73	292,68	292,68	46,30	46,30	723,33	22,14
Teterow, groß	6000,00	1050,56	1120,00	136,76	60,28	60,28	444,44	444,44	444,44	444,44	90,91	90,91	2712,50	60,28
Teterow, groß, Wind	6000,00	1050,56	1120,00	136,76	34,44	34,44	444,44	444,44	444,44	444,44	90,91	90,91	2712,50	34,44
Boltenhagen, klein	3000,00	361,67	224,00	55,36	34,63	34,63	234,29	234,29	292,68	292,68	25,93	25,93	630,33	25,93
Boltenhagen, klein, Wind	3000,00	361,67	224,00	55,36	11,07	11,07	234,29	234,29	292,68	292,68	25,93	25,93	630,33	11,07
Boltenhagen, groß	6000,00	964,44	1120,00	91,18	60,28	60,28	385,88	385,88	444,44	444,44	50,91	50,91	2363,75	50,91
Boltenhagen, groß, Wind	6000,00	964,44	1120,00	91,18	17,22	17,22	385,88	385,88	444,44	444,44	50,91	50,91	2363,75	17,22

Tabelle 130: Umfänge der Arbeitsgänge für Mais (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Mais, wendend	Bodenprobe (ha)	Mineraldünger ausbringen 1 (ha)	Pflügen (ha)	Eggen mit Federzinkenegge (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Gülle ausbringen (ha)	Eggen mit Saatbettkombination (ha)	Einzelkornsaat (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	Unkrautbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Mineraldünger ausbringen 2 (ha)	Häckseln (ha)	Transport und Festfahren (ha)	Silo reinigen und mit Folie verschließen (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Stoppelbearbeitung, flach (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	39,16	84,77	57,41	85,88	85,88	35,22	35,22	82,96	82,96	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	35,22
Gießen, klein, Wind	39,16	84,77	57,41	85,88	85,88	35,22	35,22	82,96	82,96	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	35,22
Gießen, groß	59,06	204,72	111,86	254,20	254,20	78,32	78,32	203,64	203,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	204,72	204,72	59,06
Gießen, groß, Wind	59,06	204,72	111,86	254,20	254,20	78,32	78,32	203,64	203,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	204,72	204,72	59,06
Teterow, klein	39,16	90,82	58,23	43,99	43,99	35,22	35,22	90,37	90,37	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	90,82	90,82	35,22
Teterow, klein, Wind	39,16	90,82	58,23	43,99	43,99	35,22	35,22	62,00	62,00	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	90,82	90,82	35,22
Teterow, groß	59,06	219,34	113,45	130,20	130,20	78,32	78,32	221,82	221,82	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	219,34	219,34	59,06
Teterow, groß, Wind	59,06	219,34	113,45	130,20	130,20	78,32	78,32	183,70	183,70	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	219,34	219,34	59,06
Boltenhagen, klein	39,16	84,77	53,31	43,99	43,99	35,22	35,22	66,67	66,67	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	35,22
Boltenhagen, klein, Wind	39,16	84,77	53,31	43,99	43,99	35,22	35,22	40,00	40,00	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	35,22
Boltenhagen, groß	59,06	204,72	103,87	130,20	130,20	78,32	78,32	163,64	163,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	204,72	204,72	59,06
Boltenhagen, groß, Wind	59,06	204,72	103,87	130,20	130,20	78,32	78,32	118,52	118,52	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	204,72	204,72	59,06

Tabelle 131: Umfänge der Arbeitsgänge für Mais (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Mais, nichtwendend	Bodenprobe (ha)	Mineraldünger ausbringen 1 (ha)	Tiefgrubbern (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Gülle ausbringen (ha)	Eggen mit Kreiselegge (ha)	Einzelkornsaat (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	Unkrautbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Mineraldünger ausbringen 2 (ha)	Häckseln (ha)	Transport und Festfahren (ha)	Silo reinigen und mit Folie verschließen (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Stoppelbearbeitung, flach (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	39,16	84,77	99,54	248,00	29,71	29,71	82,96	82,96	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	29,71
Gießen, klein, Wind	39,16	84,77	99,54	248,00	29,71	29,71	82,96	82,96	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	29,71
Gießen, groß	59,06	221,43	208,65	1240,00	62,22	62,22	203,64	203,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	221,43	221,43	59,06
Gießen, groß, Wind	59,06	221,43	208,65	1240,00	62,22	62,22	203,64	203,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	221,43	221,43	59,06
Teterow, klein	39,16	90,82	100,96	248,00	29,71	29,71	90,37	90,37	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	90,82	90,82	29,71
Teterow, klein, Wind	39,16	90,82	100,96	248,00	29,71	29,71	62,00	62,00	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	90,82	90,82	29,71
Teterow, groß	59,06	237,24	211,63	1240,00	62,22	62,22	221,82	221,82	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	237,24	237,24	59,06
Teterow, groß, Wind	59,06	237,24	211,63	1240,00	62,22	62,22	183,70	183,70	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	237,24	237,24	59,06
Boltenhagen, klein	39,16	84,77	92,43	248,00	29,71	29,71	66,67	66,67	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	29,71
Boltenhagen, klein, Wind	39,16	84,77	92,43	248,00	29,71	29,71	40,00	40,00	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	29,71
Boltenhagen, groß	59,06	221,43	193,75	1240,00	62,22	62,22	163,64	163,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	221,43	221,43	59,06
Boltenhagen, groß, Wind	59,06	221,43	193,75	1240,00	62,22	62,22	118,52	118,52	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	221,43	221,43	59,06

Tabelle 132: Umfänge der Arbeitsgänge für Mais (wendend), ohne Gülle ausbringen, kleine und große Betriebe mit und ohne Windrestriktion in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Mais, wendend, ohne Gülle ausbringen	Bodenprobe (ha)	Mineraldünger ausbringen 1 (ha)	Pflügen (ha)	Eggen mit Federzinkenegge (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Gülle ausbringen (ha)	Eggen mit Saatbettkombination (ha)	Einzelkornsaat (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	Unkrautbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Mineraldünger ausbringen 2 (ha)	Häckseln (ha)	Transport und Festfahren (ha)	Silo reinigen und mit Folie verschließen (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Stoppelbearbeitung, flach (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	39,16	84,77	57,41	85,88	85,88		154,48	82,96	82,96	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	39,16
Gießen, klein, Wind	39,16	84,77	57,41	85,88	85,88		154,48	82,96	82,96	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	39,16
Gießen, groß	59,06	204,72	111,86	254,20	254,20		373,33	203,64	203,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	204,72	204,72	59,06
Gießen, groß, Wind	59,06	204,72	111,86	254,20	254,20		373,33	203,64	203,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	204,72	204,72	59,06
Teterow, klein	39,16	90,82	58,23	43,99	43,99		143,45	90,37	90,37	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	90,82	90,82	39,16
Teterow, klein, Wind	39,16	90,82	58,23	43,99	43,99		143,45	62,00	62,00	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	90,82	90,82	39,16
Teterow, groß	59,06	219,34	113,45	130,20	130,20		346,67	221,82	221,82	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	219,34	219,34	59,06
Teterow, groß, Wind	59,06	219,34	113,45	130,20	130,20		346,67	183,70	183,70	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	219,34	219,34	59,06
Boltenhagen, klein	39,16	84,77	53,31	43,99	43,99		113,10	66,67	66,67	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	39,16
Boltenhagen, klein, Wind	39,16	84,77	53,31	43,99	43,99		113,10	40,00	40,00	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	39,16
Boltenhagen, groß	59,06	204,72	103,87	130,20	130,20		273,33	163,64	163,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	204,72	204,72	59,06
Boltenhagen, groß, Wind	59,06	204,72	103,87	130,20	130,20		273,33	118,52	118,52	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	204,72	204,72	59,06

Tabelle 133: Umfänge der Arbeitsgänge für Mais (nichtwendend), ohne Gülle ausbringen, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Mais, nichtwendend, ohne Gülle ausbringen	Bodenprobe (ha)	Mineraldünger ausbringen 1 (ha)	Tiefgrubbern (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Gülle ausbringen (ha)	Eggen mit Kreiselegge (ha)	Einzelkornsaat (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	Unkrautbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Mineraldünger ausbringen 2 (ha)	Häckseln (ha)	Transport und Festfahren (ha)	Silo reinigen und mit Folie verschließen (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Stoppelbearbeitung, flach (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	39,16	84,77	99,54	248,00		76,58	82,96	82,96	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	39,16
Gießen, klein, Wind	39,16	84,77	99,54	248,00		76,58	82,96	82,96	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	39,16
Gießen, groß	59,06	221,43	208,65	1240,00		146,89	203,64	203,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	221,43	221,43	59,06
Gießen, groß, Wind	59,06	221,43	208,65	1240,00		146,89	203,64	203,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	221,43	221,43	59,06
Teterow, klein	39,16	90,82	100,96	248,00		71,11	90,37	90,37	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	90,82	90,82	39,16
Teterow, klein, Wind	39,16	90,82	100,96	248,00		71,11	62,00	62,00	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	90,82	90,82	39,16
Teterow, groß	59,06	237,24	211,63	1240,00		136,39	221,82	221,82	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	237,24	237,24	59,06
Teterow, groß, Wind	59,06	237,24	211,63	1240,00		136,39	183,70	183,70	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	237,24	237,24	59,06
Boltenhagen, klein	39,16	84,77	92,43	248,00		56,07	66,67	66,67	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	39,16
Boltenhagen, klein, Wind	39,16	84,77	92,43	248,00		56,07	40,00	40,00	281,82	281,82	317,95	317,95	39,16	39,16	39,16	84,77	84,77	39,16
Boltenhagen, groß	59,06	221,43	193,75	1240,00		107,54	163,64	163,64	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	221,43	221,43	59,06
Boltenhagen, groß, Wind	59,06	221,43	193,75	1240,00		107,54	118,52	118,52	459,26	459,26	620,00	620,00	59,06	59,06	59,06	221,43	221,43	59,06

Tabelle 134: Umfänge der Arbeitsgänge für Zuckerrübe (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windaufgabe in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Zuckerrübe, wendend	Bodenprobe (ha)	Mineraldünger ausbringen 1 (ha)	Pflügen (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Eggen mit Saatbettkombination (ha)	Mineraldünger ausbringen 2 (ha)	Einzelkornsaat (ha)	Unkrautbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 3 (ha)	Roden (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Stoppelpflege, flach, schräg (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	3750,00	33,70	33,70	224,00	75,65	75,65	71,11	71,11	71,11	348,57	953,85	387,50	26,36	33,70	33,70	26,36
Gießen, klein, Wind	3750,00	33,70	33,70	224,00	75,65	75,65	71,11	71,11	71,11	348,57	953,85	387,50	26,36	33,70	33,70	26,36
Gießen, groß	7500,00	71,85	71,85	1120,00	186,91	186,91	186,67	186,67	186,67	574,12	1240,00	638,24	97,69	71,85	71,85	71,85
Gießen, groß, Wind	7500,00	71,85	71,85	1120,00	186,91	186,91	186,67	186,67	186,67	574,12	1240,00	638,24	97,69	71,85	71,85	71,85
Teterow, klein	3750,00	34,18	34,18	224,00	38,75	38,75	66,03	66,03	66,03	320,00	953,85	387,50	26,80	34,18	34,18	26,80
Teterow, klein, Wind	3750,00	34,18	34,18	224,00	38,75	38,75	40,82	40,82	40,82	320,00	953,85	387,50	26,80	34,18	34,18	26,80
Teterow, groß	7500,00	72,88	72,88	1120,00	95,74	95,74	173,33	173,33	173,33	527,06	1240,00	638,24	99,32	72,88	72,88	72,88
Teterow, groß, Wind	7500,00	72,88	72,88	1120,00	95,74	95,74	129,03	129,03	129,03	527,06	1240,00	638,24	99,32	72,88	72,88	72,88
Boltenhagen, klein	3750,00	31,29	31,29	224,00	38,75	38,75	52,06	52,06	52,06	314,29	953,85	332,14	24,60	31,29	31,29	24,60
Boltenhagen, klein, Wind	3750,00	31,29	31,29	224,00	38,75	38,75	24,49	24,49	24,49	314,29	953,85	332,14	24,60	31,29	31,29	24,49
Boltenhagen, groß	7500,00	66,72	66,72	1120,00	95,74	95,74	136,67	136,67	136,67	517,65	1240,00	547,06	91,18	66,72	66,72	66,72
Boltenhagen, groß, Wind	7500,00	66,72	66,72	1120,00	95,74	95,74	77,42	77,42	77,42	517,65	1240,00	547,06	91,18	66,72	66,72	66,72

Tabelle 135: Umfänge der Arbeitsgänge für Zuckerrübe (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Zuckerrübe, nichtwendend	Bodenprobe (ha)	Mineraldünger ausbringen 1 (ha)	Tiefgrubbern (ha)	N _{min} -Probennahme (ha)	Eggen mit Kreiselegge (ha)	Mineraldünger ausbringen 2 (ha)	Einzelkornsaat (ha)	Unkrautbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (ha)	Bestandesbonitur 1 (ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 3 (ha)	Roden (ha)	Kalk ab Feld streuen (ha)	Stoppelparbeitung, flach, schräg (ha)	Verfahrensumfang (ha)
Gießen, klein	3750,00	44,83	44,83	224,00	44,44	44,44	71,11	71,11	71,11	348,57	953,85	387,50	26,36	44,83	44,83	26,36
Gießen, klein, Wind	3750,00	44,83	44,83	224,00	44,44	44,44	71,11	71,11	71,11	348,57	953,85	387,50	26,36	44,83	44,83	26,36
Gießen, groß	7500,00	102,36	102,36	1120,00	89,51	89,51	186,67	186,67	186,67	574,12	1240,00	638,24	97,69	102,36	102,36	89,51
Gießen, groß, Wind	7500,00	102,36	102,36	1120,00	89,51	89,51	186,67	186,67	186,67	574,12	1240,00	638,24	97,69	102,36	102,36	89,51
Teterow, klein	3750,00	45,48	45,48	224,00	22,76	22,76	66,03	66,03	66,03	320,00	953,85	387,50	26,80	45,48	45,48	22,76
Teterow, klein, Wind	3750,00	45,48	45,48	224,00	22,76	22,76	40,82	40,82	40,82	320,00	953,85	387,50	26,80	45,48	45,48	22,76
Teterow, groß	7500,00	103,82	103,82	1120,00	45,85	45,85	173,33	173,33	173,33	527,06	1240,00	638,24	99,32	103,82	103,82	45,85
Teterow, groß, Wind	7500,00	103,82	103,82	1120,00	45,85	45,85	129,03	129,03	129,03	527,06	1240,00	638,24	99,32	103,82	103,82	45,85
Boltenhagen, klein	3750,00	45,48	45,48	224,00	22,76	22,76	66,03	66,03	66,03	320,00	953,85	387,50	26,80	45,48	45,48	22,76
Boltenhagen, klein, Wind	3750,00	45,48	45,48	224,00	22,76	22,76	40,82	40,82	40,82	320,00	953,85	387,50	26,80	45,48	45,48	22,76
Boltenhagen, groß	7500,00	95,05	95,05	1120,00	45,85	45,85	136,67	136,67	136,67	517,65	1240,00	547,06	91,18	95,05	95,05	45,85
Boltenhagen, groß, Wind	7500,00	95,05	95,05	1120,00	45,85	45,85	77,42	77,42	77,42	517,65	1240,00	547,06	91,18	95,05	95,05	45,85

Tabelle 136: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Sommergerste (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Sommergerste, wendend	Bodenprobe	Mineraldünger ausbringen 1	Pflügen	N _{min} -Probennahme	Eggen mit Saatbettkombination	Säen mit Sämaschine	Mineraldünger ausbringen 2	Unkautbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 1	Bestandesbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 2	Mähdrusch	Korntransport, Lagern und Trocknen	Kalk ab Feld streuen	Stoppelparbeitung, flach, schräg	Stoppelparbeitung, tief, schräg
Gießen, klein	11	10	1	7	4	2	2	8	8	9	9	3	3	5	5	6
Gießen, klein, Wind	11	10	1	7	4	2	2	8	8	9	9	3	3	5	5	6
Gießen, groß	10	8	1	9	5	2	2	7	7	7	7	3	3	6	6	4
Gießen, groß, Wind	10	8	1	9	5	2	2	7	7	7	7	3	3	6	6	4
Teterow, klein	11	10	4	7	2	1	1	8	8	9	9	3	3	6	6	5
Teterow, klein, Wind	11	10	4	7	2	1	1	8	8	9	9	3	3	6	6	5
Teterow, groß	10	8	4	9	3	1	1	7	7	7	7	2	2	6	6	5
Teterow, groß, Wind	10	8	4	9	3	1	1	7	7	7	7	2	2	6	6	5
Boltenhagen, klein	11	10	4	7	2	3	3	8	8	9	9	1	1	6	6	5
Boltenhagen, klein, Wind	11	10	4	7	3	1	1	8	8	9	9	2	2	6	6	5
Boltenhagen, groß	11	9	4	10	2	3	3	7	7	8	8	1	1	6	6	5
Boltenhagen, groß, Wind	11	9	4	10	3	1	1	7	7	8	8	2	2	6	6	5

Tabelle 137: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Sommergerste (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Sommergerste, nichtwendend	Bodenprobe	Mineraldünger ausbringen 1	Tiefgrubbern	N _{min} -Probennahme	Pflanzenschutzmaßnahme 1	Säen mit Kreiselegge und Sämaschine	Mineraldünger ausbringen 2	Unkautbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 2	Bestandesbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 3	Mähdrusch	Korntransport, Lagern und Trocknen	Kalk ab Feld streuen	Stoppelbearbeitung, flach, schräg	Stoppelbearbeitung, tief, schräg
Gießen, klein	11	10	3	7	6	1	1	8	8	9	9	2	2	4	4	5
Gießen, klein, Wind	11	10	3	7	6	1	1	8	8	9	9	2	2	4	4	5
Gießen, groß	11	8	3	9	6	1	1	7	7	7	7	2	2	5	5	4
Gießen, groß, Wind	11	8	3	9	6	1	1	7	7	7	7	2	2	5	5	4
Teterow, klein	11	10	5	7	3	1	1	8	8	9	9	2	2	6	6	4
Teterow, klein, Wind	11	10	5	7	3	1	1	8	8	9	9	2	2	6	6	4
Teterow, groß	10	8	5	9	3	1	1	7	7	7	7	2	2	6	6	4
Teterow, groß, Wind	10	8	5	9	3	1	1	7	7	7	7	2	2	6	6	4
Boltenhagen, klein	11	10	5	7	3	1	1	8	8	9	9	2	2	6	6	4
Boltenhagen, klein, Wind	11	10	5	7	3	1	1	8	8	9	9	2	2	6	6	4
Boltenhagen, groß	11	9	4	10	3	1	1	7	7	8	8	2	2	6	6	5
Boltenhagen, groß, Wind	11	9	4	10	3	1	1	7	7	8	8	2	2	6	6	5

Tabelle 138: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Sommergerste (Direktsaat), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Sommergerste, Direktsaat	Bodenprobe	Mineraldünger ausbringen 1	N _{min} -Probennahme	Pflanzenschutzmaßnahme 1	Säen mit Kreiselegge und Sämaschine	Mineraldünger ausbringen 2	Unkautbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 2	Bestandesbonitur	Pflanzenschutzmaßnahme 3	Mähdrusch	Korntransport, Lagern und Trocknen	Kalk ab Feld streuen
Gießen, klein	10	8	4	3	1	1	5	5	6	6	2	2	9
Gießen, klein, Wind	10	8	4	3	1	1	5	5	6	6	2	2	9
Gießen, groß	8	5	6	3	1	1	4	4	4	4	2	2	7
Gießen, groß, Wind	8	5	6	3	1	1	4	4	4	4	2	2	7
Teterow, klein	9	7	4	3	1	1	5	5	6	6	2	2	8
Teterow, klein, Wind	9	7	4	3	1	1	5	5	6	6	2	2	8
Teterow, groß	8	5	6	3	1	1	4	4	4	4	2	2	7
Teterow, groß, Wind	8	5	6	3	1	1	4	4	4	4	2	2	7
Boltenhagen, klein	9	7	4	3	2	2	5	5	6	6	1	1	8
Boltenhagen, klein, Wind	9	7	4	3	1	1	5	5	6	6	2	2	8
Boltenhagen, groß	9	6	7	3	2	2	4	4	5	5	1	1	8
Boltenhagen, groß, Wind	9	6	7	3	1	1	4	4	5	5	2	2	8

Tabelle 139: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Mais (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Mais, wendend	Bodenprobe	Mineraldünger ausbringen 1	Pflügen	Eggen mit Federzinkenegge	N _{min} -Probennahme	Gülle ausbringen	Eggen mit Saatbettkombination	Einzelkornsaat	Pflanzenschutzmaßnahme 1	Unkrautbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 2	Bestandesbonitur 1	Mineraldünger ausbringen 2	Häckseln	Transport und Festfahren	Silo reinigen und mit Folie verschließen	Kalk ab Feld streuen	Stoppelbearbeitung, flach
Gießen, klein	2	5	3	6	6	1	1	4	4	7	7	8	8	2	2	2	5	5
Gießen, klein, Wind	2	5	3	6	6	1	1	4	4	7	7	8	8	2	2	2	5	5
Gießen, groß	1	5	3	6	6	2	2	4	4	7	7	8	8	1	1	1	5	5
Gießen, groß, Wind	1	5	3	6	6	2	2	4	4	7	7	8	8	1	1	1	5	5
Teterow, klein	2	6	4	3	3	1	1	5	5	7	7	8	8	2	2	2	6	6
Teterow, klein, Wind	2	6	4	3	3	1	1	5	5	7	7	8	8	2	2	2	6	6
Teterow, groß	1	5	3	4	4	2	2	6	6	7	7	8	8	1	1	1	5	5
Teterow, groß, Wind	1	6	3	4	4	2	2	5	5	7	7	8	8	1	1	1	6	6
Boltenhagen, klein	2	6	4	3	3	1	1	5	5	7	7	8	8	2	2	2	6	6
Boltenhagen, klein, Wind	2	6	5	4	4	1	1	3	3	7	7	8	8	2	2	2	6	6
Boltenhagen, groß	1	6	3	4	4	2	2	5	5	7	7	8	8	1	1	1	6	6
Boltenhagen, groß, Wind	1	6	3	5	5	2	2	4	4	7	7	8	8	1	1	1	6	6

Tabelle 140: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Mais (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Mais, nichtwendend	Bodenprobe	Mineraldünger ausbringen 1	Tiefgrubbern	N _{min} -Probennahme	Gülle ausbringen	Eggen mit Kreiselegge	Einzelkornsaat	Pflanzenschutzmaßnahme 1	Unkrautbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 2	Bestandesbonitur 1	Mineraldünger ausbringen 2	Häckseln	Transport und Festfahren	Silo reinigen und mit Folie verschließen	Kalk ab Feld streuen	Stoppelbearbeitung, flach
Gießen, klein	2	4	5	6	1	1	3	3	7	7	8	8	2	2	2	4	4
Gießen, klein, Wind	2	4	5	6	1	1	3	3	7	7	8	8	2	2	2	4	4
Gießen, groß	1	5	4	8	2	2	3	3	6	6	7	7	1	1	1	5	5
Gießen, groß, Wind	1	5	4	8	2	2	3	3	6	6	7	7	1	1	1	5	5
Teterow, klein	2	4	5	6	1	1	3	3	7	7	8	8	2	2	2	4	4
Teterow, klein, Wind	2	4	5	6	1	1	3	3	7	7	8	8	2	2	2	4	4
Teterow, groß	1	5	3	8	2	2	4	4	6	6	7	7	1	1	1	5	5
Teterow, groß, Wind	1	5	4	8	2	2	3	3	6	6	7	7	1	1	1	5	5
Boltenhagen, klein	2	4	5	6	1	1	3	3	7	7	8	8	2	2	2	4	4
Boltenhagen, klein, Wind	2	4	5	6	1	1	3	3	7	7	8	8	2	2	2	4	4
Boltenhagen, groß	1	5	4	8	2	2	3	3	6	6	7	7	1	1	1	5	5
Boltenhagen, groß, Wind	1	5	4	8	2	2	3	3	6	6	7	7	1	1	1	5	5

Tabelle 141: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Mais (wendend), ohne Gülle ausbringen, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Mais, wendend, ohne Gülle ausbringen	Bodenprobe	Mineraldünger ausbringen 1	Pflügen	Eggen mit Federzinkenegge	N _{min} -Probennahme	Gülle ausbringen	Eggen mit Saatbettkombination	Einzelkornsaat	Pflanzenschutzmaßnahme 1	Unkrautbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 2	Bestandesbonitur 1	Mineraldünger ausbringen 2	Häckseln	Transport und Festfahren	Silo reinigen und mit Folie verschließen	Kalk ab Feld streuen	Stoppelbearbeitung, flach
Gießen, klein	1	4	2	5	5		6	3	3	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Gießen, klein, Wind	1	4	2	5	5		6	3	3	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Gießen, groß	1	4	2	5	5		6	3	3	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Gießen, groß, Wind	1	4	2	5	5		6	3	3	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Teterow, klein	1	5	3	2	2		6	4	4	7	7	8	8	1	1	1	5	5
Teterow, klein, Wind	1	5	3	2	2		6	4	4	7	7	8	8	1	1	1	5	5
Teterow, groß	1	4	2	3	3		6	5	5	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Teterow, groß, Wind	1	5	2	3	3		6	4	4	7	7	8	8	1	1	1	5	5
Boltenhagen, klein	1	5	3	2	2		6	4	4	7	7	8	8	1	1	1	5	5
Boltenhagen, klein, Wind	1	5	4	3	3		6	2	2	7	7	8	8	1	1	1	5	5
Boltenhagen, groß	1	5	2	3	3		6	4	4	7	7	8	8	1	1	1	5	5
Boltenhagen, groß, Wind	1	5	2	4	4		6	3	3	7	7	8	8	1	1	1	5	5

Tabelle 142: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Mais (nichtwendend), ohne Gülle ausbringen, kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Mais, nichtwendend, ohne Gülle ausbringen	Bodenprobe	Mineraldünger ausbringen 1	Tiefgrubbern	N _{min} -Probennahme	Gülle ausbringen	Eggen mit Kreiselegge	Einzelkornsaat	Pflanzenschutzmaßnahme 1	Unkrautbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 2	Bestandesbonitur 1	Mineraldünger ausbringen 2	Häckseln	Transport und Festfahren	Silo reinigen und mit Folie verschließen	Kalk ab Feld streuen	Stoppelbearbeitung, flach
Gießen, klein	1	4	5	6		2	3	3	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Gießen, klein, Wind	1	4	5	6		2	3	3	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Gießen, groß	1	5	4	8		2	3	3	6	6	7	7	1	1	1	5	5
Gießen, groß, Wind	1	5	4	8		2	3	3	6	6	7	7	1	1	1	5	5
Teterow, klein	1	4	5	6		2	3	3	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Teterow, klein, Wind	1	4	5	6		3	2	2	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Teterow, groß	1	5	3	8		2	4	4	6	6	7	7	1	1	1	5	5
Teterow, groß, Wind	1	5	4	8		2	3	3	6	6	7	7	1	1	1	5	5
Boltenhagen, klein	1	4	5	6		2	3	3	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Boltenhagen, klein, Wind	1	4	5	6		3	2	2	7	7	8	8	1	1	1	4	4
Boltenhagen, groß	1	5	4	8		2	3	3	6	6	7	7	1	1	1	5	5
Boltenhagen, groß, Wind	1	5	4	8		2	3	3	6	6	7	7	1	1	1	5	5

Tabelle 143: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Zuckerrübe (wendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windauflage in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Zuckerrübe, wendend	Bodenprobe (h/ha)	Mineraldünger ausbringen 1 (h/ha)	Pflügen (h/ha)	N _{min} -Probennahme (h/ha)	Eggen mit Saatbettkombination (h/ha)	Mineraldünger ausbringen 2 (h/ha)	Einzelkornsaat (h/ha)	Unkrautbonitur 1 (h/ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 1 (h/ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 2 (h/ha)	Bestandesbonitur 1 (h/ha)	Pflanzenschutzmaßnahme 3 (h/ha)	Roden (h/ha)	Kalk ab Feld streuen (h/ha)	Stoppelbearbeitung, flach, schräg (h/ha)
Gießen, klein	9	2	2	5	4	4	3	3	3	6	8	7	1	2	2
Gießen, klein, Wind	9	2	2	5	4	4	3	3	3	6	8	7	1	2	2
Gießen, groß	9	1	1	7	4	4	3	3	3	5	8	6	2	1	1
Gießen, groß, Wind	9	1	1	7	4	4	3	3	3	5	8	6	2	1	1
Teterow, klein	9	2	2	5	3	3	4	4	4	6	8	7	1	2	2
Teterow, klein, Wind	9	2	2	5	3	3	4	4	4	6	8	7	1	2	2
Teterow, groß	9	1	1	7	2	2	4	4	4	5	8	6	3	1	1
Teterow, groß, Wind	9	1	1	7	2	2	4	4	4	5	8	6	3	1	1
Boltenhagen, klein	9	2	2	5	3	3	4	4	4	6	8	7	1	2	2
Boltenhagen, klein, Wind	9	3	3	5	4	4	1	1	1	6	8	7	2	3	3
Boltenhagen, groß	9	1	1	7	3	3	4	4	4	5	8	6	2	1	1
Boltenhagen, groß, Wind	9	1	1	7	4	4	2	2	2	5	8	6	3	1	1

Tabelle 144: Ordnung der Restriktionen der Arbeitsgänge für Zuckerrübe (nichtwendend), kleine und große Betriebe ohne und mit Windaufgabe in Gießen, Teterow und Boltenhagen (Quelle: Eigene Berechnung)

Zuckerrübe, nichtwendend	Bodenprobe	Mineraldünger ausbringen 1	Tiefgrubbern	N _{min} -Probennahme	Eggen mit Kreiselegge	Mineraldünger ausbringen 2	Einzelkornsaat	Unkrautbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 1	Pflanzenschutzmaßnahme 2	Bestandesbonitur 1	Pflanzenschutzmaßnahme 3	Roden	Kalk ab Feld streuen	Stoppelbearbeitung, flach, schräg
Gießen, klein	9	3	3	5	2	2	4	4	4	6	8	7	1	3	3
Gießen, klein, Wind	9	3	3	5	2	2	4	4	4	6	8	7	1	3	3
Gießen, groß	9	3	3	7	1	1	4	4	4	5	8	6	2	3	3
Gießen, groß, Wind	9	3	3	7	1	1	4	4	4	5	8	6	2	3	3
Teterow, klein	9	3	3	5	1	1	4	4	4	6	8	7	2	3	3
Teterow, klein, Wind	9	3	3	5	1	1	4	4	4	6	8	7	2	3	3
Teterow, groß	9	3	3	7	1	1	4	4	4	5	8	6	2	3	3
Teterow, groß, Wind	9	3	3	7	1	1	4	4	4	5	8	6	2	3	3
Boltenhagen, klein	9	3	3	5	1	1	4	4	4	6	8	7	2	3	3
Boltenhagen, klein, Wind	9	4	4	5	1	1	3	3	3	6	8	7	2	4	4
Boltenhagen, groß	9	3	3	7	1	1	4	4	4	5	8	6	2	3	3
Boltenhagen, groß, Wind	9	4	4	7	1	1	2	2	2	5	8	6	3	4	4

Tabelle 145: Aussaatkosten (€/ha) der Mechanisierungsalternativen nach Anzahl der Sämaschinen für 1000 ha und Erwartungswert der Aussaatkosten für einen großen Betrieb für Sommergerste (wendend) in Teterow mit Windauflage (Quelle: Eigene Berechnung)

Sämaschinen (n) für 1000 ha	M _{raf} Q(0,40)_M(7)	M _{mraf} Q(0,30)_M(8)	M _{mraV} Q(0,20)_M(10)	M _{raV} Q(0,10)_M(17)	E(K)
1	471,82	486,58	514,78	545,56	448,58
2	354,17	383,68	440,10	501,65	309,66
3	237,61	281,88	366,50	458,82	208,05
4	123,23	182,25	295,08	418,18	149,77
5	56,75	82,63	223,66	377,53	117,63
6	38,17	57,73	152,24	336,89	101,82
7	32,63	42,41	80,82	296,24	92,24
8	36,86	36,86	68,80	255,60	88,27
9	41,09	41,09	58,69	214,95	87,10
10	45,33	45,33	48,59	174,31	86,79
11	49,56	49,56	49,56	133,66	87,04
12	53,79	53,79	53,79	98,76	87,73
13	58,02	58,02	58,02	94,52	89,96
14	62,26	62,26	62,26	90,28	92,61
15	66,49	66,49	66,49	86,04	95,39
16	70,72	70,72	70,72	81,80	98,17
17	74,96	74,96	74,96	77,56	100,96
18	79,19	79,19	79,19	79,19	104,03
19	83,42	83,42	83,42	83,42	107,24
20	87,65	87,65	87,65	87,65	110,44

M_{raf} Q(0,40) = risikoaffine Mechanisierung, M_{mraf} Q(0,30) = mittlere risikoaffine Mechanisierung

M_{mraV} Q(0,20) = mittlere risikoaverse Mechanisierung, M_{raV} Q(0,10) = risikoaverse Mechanisierung

Q = Quantil, M() = kostenminimale Maschinenanzahl, E(K) = Erwartungswert der Aussaatkosten

 = Mechanisierungsalternative hat höhere Kosten wie E(K)

Mögliche Auswirkungen einer Windauflage für gebeiztes Saatgut auf Aussaatkosten und Risikoalternativen

M.Sc. Philip Rabenau und Prof. Dr. Joachim Aurbacher

Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft,

Senckenbergstr. 3, 35390 Gießen

Korrespondenz: Philip.Rabenau@agrار.uni-giessen.de

Abstract

Im vorliegenden Beitrag werden die Auswirkungen der 2022 in Deutschland eingeführten Windauflage für gebeiztes Saatgut auf die Aussaatkosten und das Risiko einer zeitgerechten Arbeitserledigung untersucht. Es wird analysiert, ob eine größere Maschinenanzahl für die Aussaat zu höheren Kosten oder Ertragsverlusten aufgrund begrenzter Kapazitäten an Feldarbeitstagen führt. Dabei werden die Unterschiede zwischen einem windärmeren Standort (Gießen) und einem windreicheren Standort (Teterow) betrachtet. Des Weiteren wird untersucht, ob eine risikoaffine oder risikoaverse Einstellung von Landwirten bezüglich des Mechanisierungsgrades vorteilhaft ist. Die Ergebnisse zeigen, dass die Windauflage vor allem in Teterow Auswirkungen hat, während sie in Gießen lediglich geringfügig ist. Zudem wird deutlich, dass eine risikoaverse Einstellung bezüglich des Mechanisierungsgrades von Vorteil ist.

Schlüsselwörter: Windauflage, Risikoeinstellung, kostenminimaler Maschineneinsatz, kumulative Dichtefunktion

1 Einleitung

Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2022) legt Anforderungen für Pflanzenschutzmittel fest. Insektizide Beizen unterliegen der Regelung NH681, die die Saatgutausbringung bei Windgeschwindigkeiten über 5 m/s untersagt. Fungizide Beizmittel fallen ebenfalls zunehmend unter diese Vorschrift. Neue Regeln (NT699x) für Beizanlagen und Saatgutausbringung bei Wind (NH681) wurden 2022 eingeführt und erweitern die Anwendungsbestimmung NH681 auf alle Saatgutbehandlungsmittel. Das Umweltbundesamt kritisiert mangelnde Daten zur Beizmittelstaub-Abdrift bei

höheren Windgeschwindigkeiten und fordert ein Aussetzen der Saat bei Wind, bis Schäden für aquatische Lebewesen ausgeschlossen sind (Landesverband Bayer. Saatguterzeuger, 2019). Angesichts der Kosten und Effizienzanforderungen in der Landwirtschaft ist eine verbesserte Betriebsführung und Planung der Maschineneinsätze unter Berücksichtigung von Pflanzenwachstum und Wetterbedingungen erforderlich. Mehr Mechanisierung geht mit höheren Maschinenkosten und geringerem witterungsbedingtem Risiko einher. Dieser Beitrag untersucht den Einfluss der Windauflage auf das Verhältnis zwischen Maschinenanzahl und Ertragsverlusten aufgrund suboptimaler Saatbedingungen und ermittelt die optimale Risikoeinstellung bezüglich der Maschinenanzahl, sowohl mit als auch ohne Windauflage. Dabei werden die verfügbaren Feldarbeitstage (FAT) für die Saat und der kostenminimale Maschineneinsatz modellhaft ermittelt, um die optimale Risikoeinstellung anhand der Aussaatkosten und deren Veränderungen durch Windauflagen zu bestimmen.

2 Stand des Wissens

In der Literatur gibt es zahlreiche Studien zur Beziehung zwischen Maschinenanzahl, Maschinenkosten und ertragsbedingten Verlusten aufgrund der Mechanisierung in Abhängigkeit vom Wetterrisiko. Die meisten Studien konzentrieren sich auf Erntemaschinen. Lips und Bolli (2007) und Lips et al. (2008) zeigen, dass eine höhere Anzahl von Erntemaschinen zu geringeren Ernteverlusten führt, aber auch höhere Maschinenkosten verursacht. In dieser Studie werden das Wetterrisiko und die Kosten mithilfe einer Monte-Carlo-Simulation analysiert, um die optimale Anzahl von Erntemaschinen und die minimalen Erntekosten pro 1000 ha zu bestimmen. Eine Zunahme der Erntewahrscheinlichkeiten und eine erhöhte Klimavariabilität können zu niedrigeren Erntekosten führen, da die Kapazität der Erntemaschinen reduziert werden kann. Landwirte sind bereit, höhere Kosten für die Ernte zu tragen, um sich gegen Wetterrisiken abzusichern. Donaldson (1968) und Ramaratnam et al. (1986) stellen fest, dass Landwirte risikoavers handeln und die tatsächliche Maschinenkapazität höher ist als die modellierte kostenminimale Kapazität. Günstige Wetterbedingungen haben nur geringe Auswirkungen auf die Kosten, während schlechtes Wetter erhebliche Auswirkungen hat. Luder (1982) unterscheidet Erntezeiträume nach unterschiedlichen Erntezeitpunkten und Ertragsverlusten. Auch Donaldson (1968) und Davis und Patrick (2002) zeigen, dass stochastische Simulationen von Maschinenkapazitäten geeignet sind, Berechnungen für zukünftige Veränderungen durchzuführen. Bisher fehlen jedoch solche Untersuchungen für den Bereich der Aussaat, der insbesondere von der neuen Windauflage betroffen ist.

3 Methodik und Datengrundlage

3.1 Berechnung der FAT der Aussaatzeitspannen

Die Bodenfeuchte der ausgewählten Standorte Gießen (Hessen) und Teterow (Mecklenburg-Vorpommern) wurde unter Verwendung der öffentlich zugänglichen Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (2022) berechnet. Dabei wurde das Bodenfeuchtemodell nach Dyer und Baier (1979) verwendet. Die verfügbaren Feldarbeitstage (FAT) wurden gemäß dem Verfahren von Augter (1990) ermittelt, wie es vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) angewendet wird. Die FAT wurden für die Saatzeitspannen von Winterweizen und Sommergerste im wendenden und Direktsaatanbauverfahren ermittelt. Die kalendarische Zuordnung der Saatzeitspannen wurde durch verschiedene Institutionen definiert (siehe Anhang Tabelle 6). Die verfügbaren FAT für leichte Böden wurden für verschiedene Wahrscheinlichkeitsquantile berechnet. Ein Tag gilt als FAT, wenn die berechnete Bodenfeuchte unterhalb der erforderlichen Bodenfeuchte für Feldarbeiten liegt. Zusätzlich wurden Restriktionen berücksichtigt, wie das Vorhandensein von Oberflächenwasser oder eine Temperatur von $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ um 14:00 Uhr. Tage mit einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit über 5 m/s gelten gemäß der Anwendungsbestimmung NH681 als ungeeignet für die Aussaat.

3.2 Kostenminimaler Maschineneinsatz

Für eine überbetriebliche Kostenanalyse werden 1000 ha als Referenzfläche gemäß Lips und Bolli (2007) angenommen. Der Aussaatzeitraum besteht aus akzeptablen Saatzeitspannen und einer inakzeptablen Saatzeitspanne für Termine außerhalb dieser Zeitspannen. Es wird von einer Schlaggröße von 10 ha und einer Hof-Feldentfernung von 2 km pro Maschinentyp ausgegangen. Die folgenden Kombinationen von Sämaschinen und Schleppern werden ausgewählt: Sämaschine (3 m) mit Schlepper (54 kW), Sämaschine (4 m) mit Schlepper (67 kW) und Sämaschine (6 m) mit Schlepper (83 kW). Die Arbeitszeitanprüche der Aussaatmaschinen stammen aus der KTBL-Web-Anwendung "Verfahrensrechner Pflanze" (KTBL, 2022), während die ökonomischen Daten aus der KTBL-Web-Anwendung "Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau" (KTBL, 2022) stammen. Die Erträge werden mit den Ertragsergebnissen für Winterweizen von der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (2014) für Winterweizen und von Boese (2001) für Sommergerste verglichen, wobei der angenommene mittlere Ertrag von KTBL (2018, 267 und 298) als Referenz verwendet wird.

Die erzielten Erträge sind in Tabelle 8 im Anhang dokumentiert. Die frühe Aussaat der Sommergerste im Februar entfällt aufgrund des gewählten Bodenfeuchtemodells. Es wird angenommen, dass zuerst die Saatzeitspannen mit den höchsten Erträgen genutzt werden und dann die Saatzeitspannen mit abnehmenden Erträgen, bis die 1000 ha vollständig bestellt sind. Zur Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes wird die Anzahl der Aussaatmaschinen schrittweise um 0,05 Maschinen erhöht, bis

der kostenminimale Maschineneinsatz erreicht wird. Die Kosten für die Aussaat bestehen aus den Maschinenkosten der Sämaschinen, den Schlepperkosten, den Lohnkosten sowie den Ertragsverlusten bei Aussaat in nicht optimalen und inakzeptablen Aussaatzeiträumen.

Die Schlepper- und Lohnkosten werden lediglich aus Gründen der Vollständigkeit berücksichtigt, da sie aufgrund der gewählten Methodik keine Kostenunterschiede bei Berücksichtigung der Windauflage verursachen. Um die Anzahl der Sämaschinen festzulegen, muss definiert werden, an welchem Quantil der verfügbaren FAT sich die Anzahl der Maschinen orientieren soll. In diesem Fall wurde die Mechanisierungsstufe Standardmechanisierung (M_{std}) verwendet, die sich an den FAT orientiert, die mit 80% Wahrscheinlichkeit mindestens erreicht werden (20%-Quantil; $Q(0,2)$). Dieses Quantil wird üblicherweise auch in den Tabellenwerken der KTBL-Betriebsplanung angenommen (KTBL, 2018, 253). Dieser Prozess wird sowohl für die FAT ohne als auch mit Windrestriktion durchgeführt, um einen Vergleich der Maschinenkosten und des Ertragsverlustes aufgrund nicht optimaler und inakzeptabler Saatzeiten zu ermöglichen. Die Verluste für die nicht optimalen Saatzeiträume ergeben sich aus den geringeren Erträgen und den Produktpreisen. Es wird angenommen, dass für den optimalen Saatzeitraum kein Verlust entsteht. Die inakzeptablen Saatzeiträume können vor oder nach allen anderen Saatzeiträumen liegen.

Für inakzeptable Saatzeiträume gibt es keine Restriktionen bezüglich der verfügbaren FAT. Somit stehen immer ausreichend viele FAT zur Bestellung der restlichen 1000 ha zur Verfügung, die nicht in den optimalen und nicht optimalen Saatzeiträumen bestellt wurden. Da keine eindeutigen Ertragsdaten für inakzeptable Saatzeiträume vorliegen, wird der Ertrag für diesen Zeitraum bestimmt, der genau die variablen Kosten deckt. Die Kosten für ungünstige Aussaat werden aus der Differenz zwischen dem Ertrag, der die variablen Kosten deckt, und dem optimalen Ertrag berechnet. Ausreichend viele Schlepper stehen zur Verfügung und nur die Anzahl der Sämaschinen ist begrenzend. Für die Maschinenkosten der Schlepper werden Kosten pro Betriebsstunde angenommen, während die Maschinenkosten der Sämaschinen entsprechend ihrer tatsächlichen Auslastung berechnet werden. Die Maschinenkosten pro Hektar der Schlepper ergeben sich aus der Mechanisierung, der resultierenden Schlagkraft und den angenommenen Kosten pro Betriebsstunde. Bei den Maschinenkosten der Sämaschinen werden fixe und variable Kosten unterschieden. Die fixen Kosten umfassen Abschreibungen, Zinskosten und Unterbringungskosten. Die variablen Kosten bestehen aus den Betriebsmittelkosten und den Reparaturkosten. Die variablen Kosten können direkt aus der KTBL-Web-Anwendung (KTBL, 2022) übernommen werden, während die fixen Kosten entsprechend der Anzahl der Maschinen pro 1000 ha und der jeweiligen Auslastung berechnet werden müssen. Es wird der kalkulatorische Zinssatz der KTBL-Web-Anwendung (KTBL, 2022) von 3,0% verwendet und für die Lohnkosten werden 21,00 €/h angenommen.

3.3 Untersuchung des Kostenrisikos unterschiedlicher Mechanisierungsgrade

Alternativ zur M_{std} werden hier zwei weitere Mechanisierungsstufen betrachtet, um den Einfluss der Vorhaltung von Über- oder Unterkapazitäten auf die durchschnittlichen Kosten und das Kostenrisiko zu untersuchen. Bei M_{std} orientiert man sich an KTBL (2018, 253) und verwendet das 20%-Quantil ($Q(0,20)$) der FAT. Dies entspricht der Annahme eines risikoaversen Mechanisierungsgrads von Donaldson (1968), Ramaratnam et al. (1986), Bolli (2007) und Lips et al. (2008). Als weitere Alternativen werden hier Mechanisierungsstufen einbezogen, die in Bezug auf das 10%-Quantil ($Q(0,1)$) und das 40%-Quantil ($Q(0,4)$) der FAT kostenminimal sind. Die Verwendung des 10%-Quantils (im Folgenden als M_{av} für risikoaverse Mechanisierung bezeichnet) bietet eine höhere Wahrscheinlichkeit für die Aussaat zum optimalen Zeitpunkt, da die Maschinenausstattung auf die geringeren FAT ausgerichtet ist, die mit 90% Wahrscheinlichkeit auftreten. Die Orientierung am 40%-Quantil (im Folgenden als M_{wa} für weniger risikoaverse Mechanisierung bezeichnet) birgt ein höheres Risiko, da die Maschinenkapazität auf mehr zu erwartenden FAT basiert und somit mit höherer Wahrscheinlichkeit zur Aussaat in tatsächlich inakzeptablen Zeiten zwingt. Bei den Risikoalternativen wird angenommen, dass mit zunehmendem Quantil die Maschinenanzahl abnimmt und somit die Risikobereitschaft durch Ertragsausfälle aufgrund von Aussaat in nicht optimalen Saatzeiten steigt. Für die gewählten Risikoalternativen wird eine kumulative Dichtefunktion der Kosten (vgl. Dormann, 2013, 38 ff.) basierend auf der Verteilungsfunktion bei gegebener, ex-ante festgelegter Maschinenanzahl gebildet. Aus den Aussaatkosten der kumulativen Dichtefunktion werden der Erwartungswert und die Spannweite zwischen dem 10% und dem 90%-Quantil (im Folgenden $D10_90$ genannt) als Streuungsmaß berechnet, indem ein numerisches Integral gebildet wird (vgl. Dormann, 2013, 38 ff.). Die Berechnung der kumulativen Dichtefunktion, des Erwartungswerts und des Streuungsmaßes der Risikoalternativen erfolgt in folgenden vier Schritten:

Schritt 1: Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes für eine Mechanisierungsstufe

Die Berechnung des kostenminimalen Maschineneinsatzes für die Aussaat von 1000 ha ohne und mit Windrestriktion erfolgt gemäß Kapitel 3.2. Die ermittelte Zahl der kostenminimalen Maschinen für jede Mechanisierungsstufe bildet die Grundlage für Schritt 2.

Schritt 2: Kostenberechnung der Aussaat für alle Quantile bei gegebener Maschinenanzahl

Anschließend wurde die für die Mechanisierungsalternativen M_{av} und M_{wa} angenommene kostenminimale Maschinenanzahl, die in Abhängigkeit der tatsächlich möglichen FAT auftretenden Aussaatkosten berechnet. Stellvertretend zur Charakterisierung der gesamten Verteilungsfunktion der FAT wurden dabei die 21 Quantilswerte von $Q(0)$ bis $Q(1)$, gestuft in 5%-Schritten, berechnet. Die Kostenberechnungsmethode entspricht der aus Schritt 1, wobei die Anzahl der Maschinen feststeht und die FAT variiert wurden. Es ergibt sich eine kumulative Dichtefunktion der Aussaatkosten (vgl. Dormann 2013, 38 ff.).

Schritt 3: Berechnung der zu erwartenden Kosten bei gegebener Maschinenanzahl

Zur weiteren Charakterisierung der Verteilungsfunktion der Aussaatkosten wurden Erwartungswerte und ein Streuungsmaß berechnet. Aufgrund der diskreten Approximation des Integrals fließen die Randquantile $Q(0)$ und $Q(1)$ nur mit halbem Gewicht in die Erwartungswertberechnung ein, da sie schmalere Intervalle repräsentieren. Dadurch wird auch der Einfluss der oft sehr hohen Kosten des $Q(1)$ -Quantils abgeschwächt, da hier in der Regel entweder sehr geringe oder keine FAT vorhanden sind. Die Spannweite zwischen den Aussaatkosten des 10%-Quantils und des 90%-Quantils der FAT dient als Streuungsmaß (D_{10_90}).

Schritt 4: Vergleich der kostengünstigsten Risikobereitschaft mit und ohne Windauflage

Im letzten Schritt werden die Erwartungswerte und Spannweiten der Aussaatkosten für die verschiedenen Mechanisierungsstufen, sowohl ohne als auch mit Windrestriktion, verglichen. Dadurch können die Kostenunterschiede bei erhöhter Risikoaversion quantifiziert werden und der Einfluss der Windrestriktion auf die beiden Mechanisierungstypen untersucht werden.

4 Ergebnisse

4.1 Kostenminimaler Maschineneinsatz zur Aussaat

Die Abbildungen 1 bis 4 zeigen die Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz der verschiedenen Arbeitsbreiten bei Standardmechanisierung (M_{std}) sowohl ohne als auch mit Windauflage. Die Abbildungen 1 bis 4 zeigen die Ergebnisse zum kostenminimalen Maschineneinsatz bei verschiedenen Arbeitsbreiten für die Standardmechanisierung (M_{std}) sowohl ohne als auch mit Windrestriktion. Beim Vergleich des Winterweizens (Abbildungen 1 und 2) mit der Sommergerste (Abbildungen 3 und 4) zeigt sich, dass der kostenminimale Maschineneinsatz ohne Windauflage ähnlich ist, während die Windauflage den kostenminimalen Maschineneinsatz für die Sommergerste stärker erhöht als für den Winterweizen. Die Abbildungen verdeutlichen auch den signifikanten Unterschied zwischen den Standorten Gießen und Teterow. Während der kostenminimalen Maschineneinsatz ohne Windrestriktion in Teterow nur geringfügig höher ist als in Gießen, ergeben sich mit Windrestriktion deutliche Unterschiede, wodurch Teterow stärker von der Windrestriktion betroffen ist und der kostenminimale Maschineneinsatz erheblich steigt. Beim direkten Anbauverfahren (Abbildungen 2 und 3) ist der Anstieg des kostenminimalen Maschineneinsatzes durch die Windrestriktion geringer als beim wendenden Anbauverfahren (Abbildungen 1 und 3). Hinsichtlich der verschiedenen Arbeitsbreiten zeigt sich, dass die 4 m Arbeitsbreite in allen Fällen, sowohl ohne als auch mit Windrestriktion, am kostengünstigsten ist. Darauf folgen die 6 m und die 3 m Arbeitsbreite.

Abbildung 1: Kostenminimaler Maschineneinsatz ohne und mit Windauflage beim wendenden Anbauverfahren für Winterweizen bei Standardmechanisierung (M_{std}) für verschiedene Arbeitsbreiten

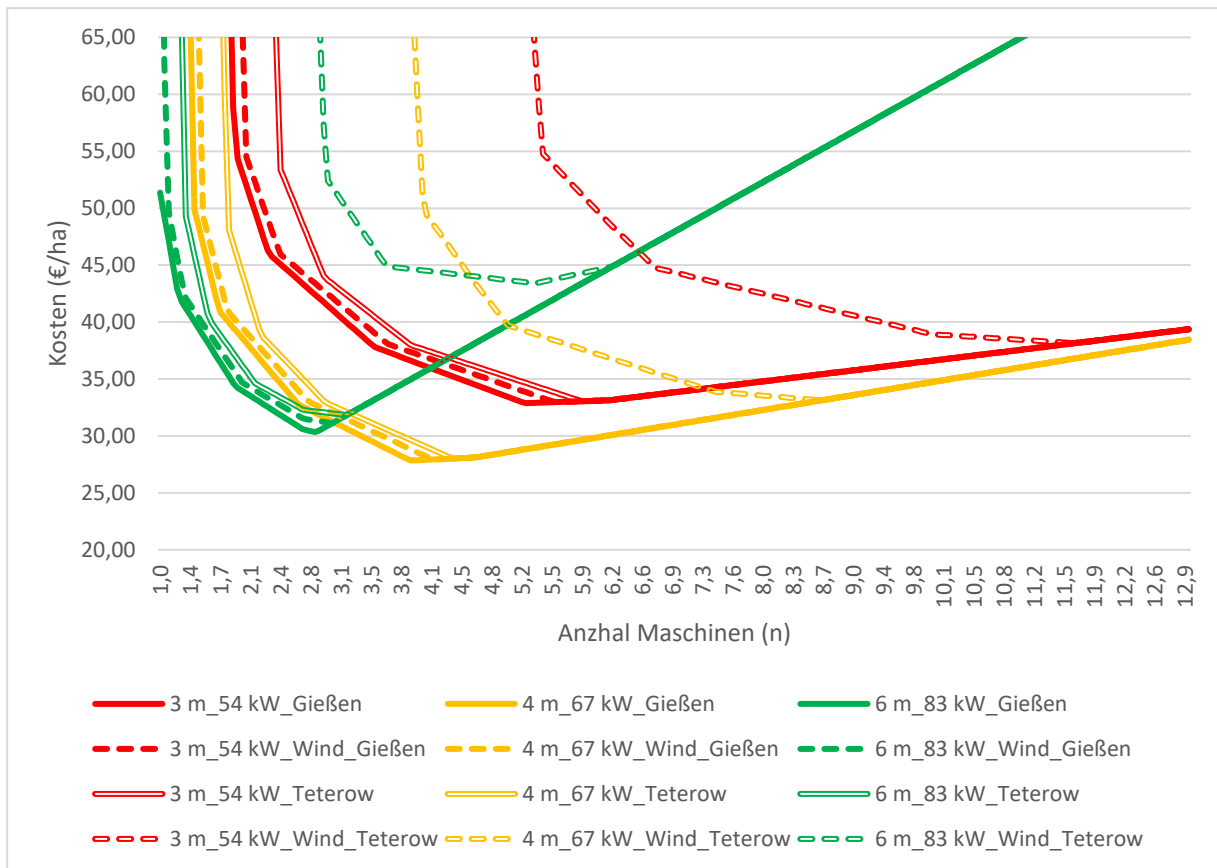


Abbildung 2: Kostenminimaler Maschineneinsatz ohne und mit Windauflage beim direkten Anbauverfahren für Winterweizen bei Standardmechanisierung (M_{std}) für verschiedene Arbeitsbreiten

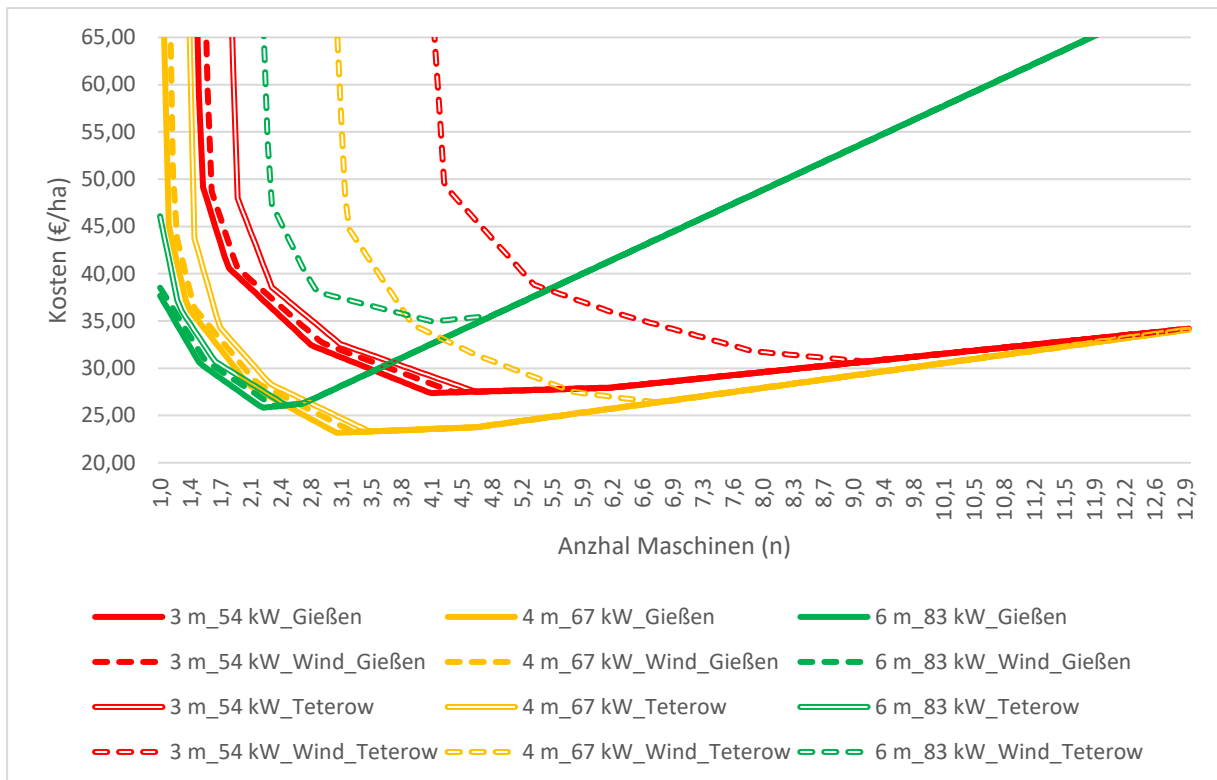


Abbildung 3: Kostenminimaler Maschineneinsatz ohne und mit Windauflage beim wendenden Anbauverfahren für Sommergerste bei Standardmechanisierung (M_{std}) für verschiedene Arbeitsbreiten

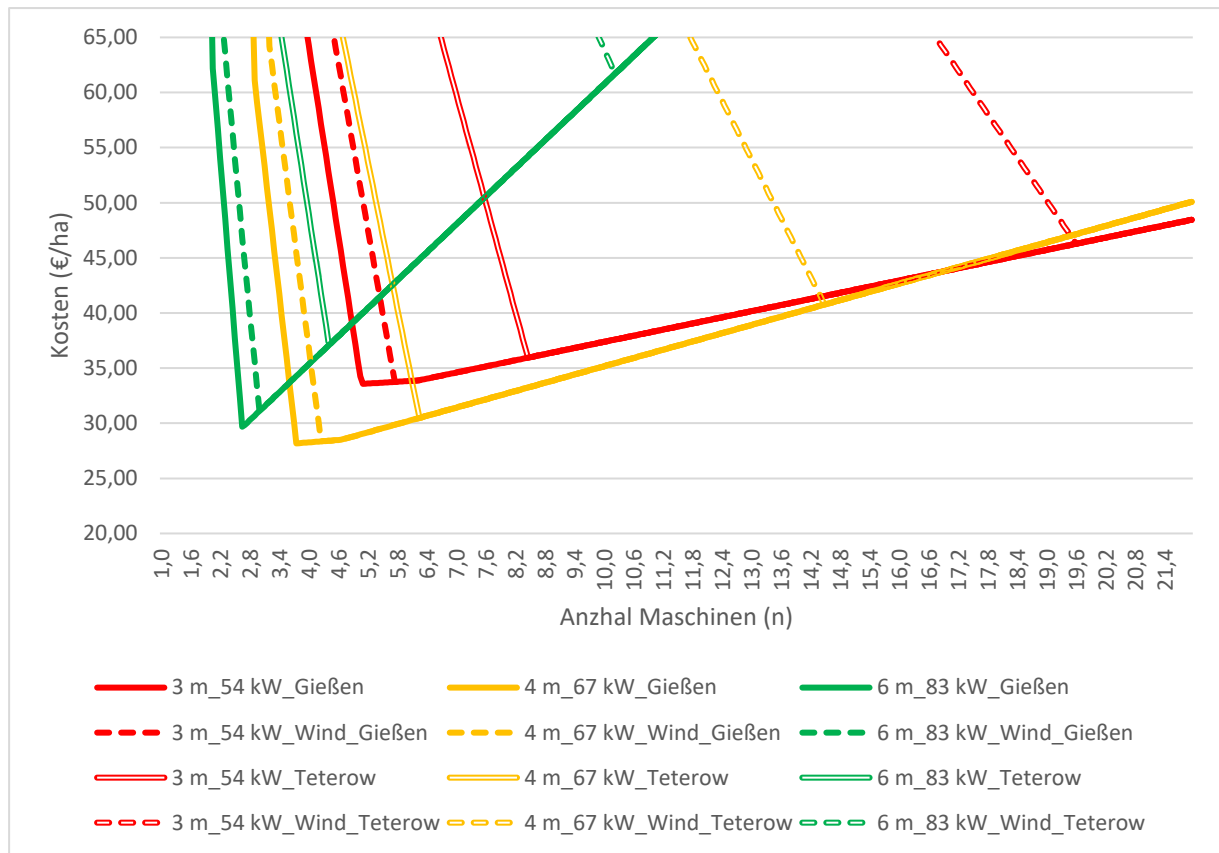
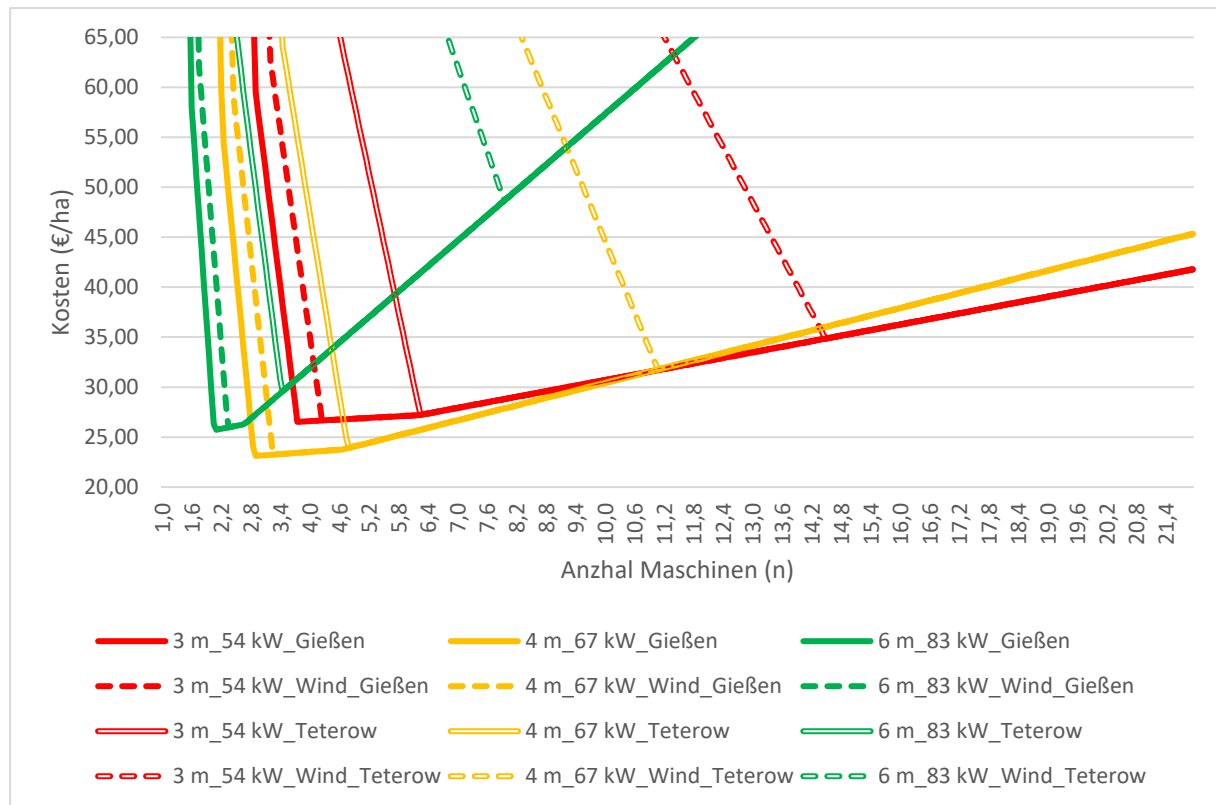


Abbildung 4: Kostenminimaler Maschineneinsatz ohne und mit Windauflage beim direkten Anbauverfahren für Sommergerste bei Standardmechanisierung (M_{std}) für verschiedene Arbeitsbreiten



4.2 Zusammensetzung des kostenminimalen Maschineneinsatz zur Aussaat bei 4 m Arbeitsbreite

Da die Arbeitsbreite von 4 m in allen Fällen zum kostenminimalen Maschineneinsatz führt, zeigen Tabelle 1 und Tabelle 2 hierfür die Zusammensetzung der Aussaatkosten für Winterweizen und Sommergerste bei der Standardmechanisierung M_{std} . Die Kosten setzen sich aus den Sämaschinen-kosten, den Kosten durch Ertragsverluste sowie den Kostensteigerungen und der Anzahl an Sämaschinen ohne und mit Windrestriktion zusammen. Die Kostensteigerung durch Ertragsverluste ergibt sich als Differenz zwischen den Kosten ohne und mit Windrestriktion. Die Daten zeigen, dass die Steigerung der Maschinenanzahl zur Erreichung des kostengünstigsten Ergebnisses wesentlich effizienter ist als die Vermeidung von Ertragsverlusten. Diese treten nur in geringem Umfang beim Winterweizen in Teterow auf und sind vor allem im Zusammenhang mit der Windrestriktion relevant. Die Kostensteigerungen durch Windrestriktion resultieren hauptsächlich aus der erhöhten Anzahl von Sämaschinen und sind in Gießen mit 0,07 €/ha bis 0,18 €/ha geringfügig, während sie in Teterow mit 3,09 €/ha bis 10,30 €/ha deutlicher ausfallen. Die Kostensteigerungen sind beim Winterweizen mit 0,07 €/ha bis 5,13 €/ha geringer als bei der Sommergerste, wo sie 0,13 €/ha bis 10,30 €/ha betragen. Darüber hinaus ist festzustellen, dass die Kostensteigerungen beim wendenden Anbauverfahren mit 0,09 €/ha bis 10,30 €/ha höher sind als beim direkten Anbauverfahren, bei dem sie 0,07 €/ha bis 7,87 €/ha betragen.

Tabelle 1: Aussaatkosten und Kostensteigerung durch Windauflage bei 4 m Arbeitsbreite und Standardmechanisierung (M_{std}) für Winterweizen

Standort, Anbauverfahren	Anzahl Sämaschinen (n/1000 ha)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Aussaatkosten (€/ha)
Gießen, wendend	3,95	8,07	0,00	27,85
Giessen, direkt	3,05	7,74	0,00	23,17
Teterow, wendend	4,40	8,23	0,01	28,02
Teterow, direkt	3,45	7,89	0,00	23,31
Standort, Anbauverfahren	Anzahl Sämaschinen mit Windauflage (n/1000 ha)	Kostensteigerung Sämaschinen (€/ha)	Kostensteigerung Ertragsverlust (€/ha)	Kostensteigerung gesamt (€/ha)
Gießen, wendend	4,20	0,09	0,00	0,09
Giessen, direkt	3,25	0,07	0,00	0,07
Teterow, wendend	8,65	5,07	0,06	5,13
Teterow, direkt	6,75	3,04	0,05	3,09

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 2: Aussaatkosten und Kostensteigerung durch Windauflage bei 4 m Arbeitsbreite und Standardmechanisierung (M_{std}) für Sommergerste

Standort, Anbauverfahren	Anzahl Sämaschinen (n/1000 ha)	Kosten Sämaschinen (€/ha)	Kosten Ertragsverlust (€/ha)	Aussaatkosten (€/ha)
Gießen, wendend	3,75	7,99	0,00	28,17
Giessen, direkt	2,90	7,69	0,00	23,11
Teterow, wendend	6,25	10,30	0,00	30,48
Teterow, direkt	4,80	8,49	0,00	23,92
Standort, Anbauverfahren	Anzahl Sämaschinen mit Windauflage (n/1000 ha)	Kostensteigerung Sämaschinen (€/ha)	Kostensteigerung Ertragsverlust (€/ha)	Kostensteigerung gesamt (€/ha)
Gießen, wendend	4,25	0,18	0,00	0,18
Giessen, direkt	3,25	0,13	0,00	0,13
Teterow, wendend	14,50	10,30	0,00	10,30
Teterow, direkt	11,10	7,87	0,00	7,87

Quelle: Eigene Berechnungen

4.3 Kostenminimaler Maschineneinsatz der Mechanisierungsalternativen

Tabelle 3 und Tabelle 4 zeigen den Erwartungswert der Aussaatkosten, bestehend aus den Sämaschinenkosten und den Kosten durch Ertragsverlust, basierend auf dem risikoaversen $M_{av}(Q(0,10))$ und dem weniger risikoaversen $M_{wa}(Q(0,40))$ für Winterweizen und Sommergerste. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf eine Arbeitsbreite von 4 m, da diese immer zu einem kosteneffizienten Maschineneinsatz führt. Die Tabellen enthalten Daten für beide Kulturen, sowohl mit als auch ohne Windauflage, und geben zudem die Anzahl der Sämaschinen an, die als kostenminimal angesehen werden. Die diskret berechneten Verteilungsfunktionen der Kosten sind im Anhang in den Abbildungen 5 bis 8 dargestellt. Die Auswirkungen der Windauflage auf die kostenoptimale Anzahl der Maschinen beim Winterweizen in Gießen sind sowohl beim wendenden als auch beim direkten Anbauverfahren nur geringfügig. Beim wendenden Anbauverfahren erhöht sich die Maschinenanzahl für M_{av} von 4,20 auf 4,50 und für M_{wa} von 3,70 auf 3,95 Maschinen. Beim Direktsaat-Anbauverfahren steigt die Anzahl der Maschinen für M_{av} von 3,25 auf 3,50 und für M_{wa} von 2,90 auf 3,05 Maschinen. In Teterow hingegen sind die Veränderungen beim Winterweizen deutlich größer. Beim wendenden Anbauverfahren steigt die Anzahl der Maschinen für M_{av} von 4,95 auf 13,60 und für M_{wa} von 3,95 auf 6,65 Maschinen. Beim Direktsaat-Anbauverfahren erhöht sich die Anzahl der Maschinen für M_{av} von 3,90 auf 10,60 und für M_{wa} von 3,05 auf 5,20 Maschinen. Auch bei der Sommergerste sind die Veränderungen in Gießen nur minimal. Beim wendenden Anbauverfahren erhöht sich die Anzahl der Maschinen von 4,95 auf 5,80 bei M_{av} und von 3,05 auf 3,40 bei M_{wa} . Beim Direktsaat-Anbauverfahren steigt die Anzahl der Maschinen für M_{av} von 3,75 auf 4,45 und für M_{wa} von 2,35 auf 2,60. In Teterow verschiebt sich beim wendenden Anbauverfahren die Mechanisierung M_{av} von 8,65 auf 24,55 Maschinen und bei M_{wa} von 5,60 auf 9,15 Maschinen. Beim direkten Anbauverfahren erhöht sich die Mechanisierung auf M_{av} 18,75 Maschinen (statt 6,60) und M_{wa} 7,00 Maschinen (statt 4,30). Mit der Erhöhung der Maschinenanzahl durch die Windauflage geht in der Regel auch eine Erhöhung des Erwartungswertes der Kosten einher.

Tabelle 3: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Risikoalternativen für Winterweizen bei 4 m Arbeitsbreite

		ohne Windauflage		mit Windauflage		Maschinenanzahl (n) ohne Windauflage		Maschinenanzahl (n) mit Windauflage	
Standort, Anbauverfahren	Erwartungswert und Streuungsmaß	M _{av} Q(0.10)	M _{wa} Q(0.40)	M _{av} Q(0.10)	M _{wa} Q(0.40)	M _{av} Q(0.10)	M _{wa} Q(0.40)	M _{av} Q(0.10)	M _{wa} Q(0.40)
Gießen, wendend	E(K) (€/ha)	28,39	28,56	28,45	28,61	4,20	3,70	4,50	3,95
	D10_90 (€/ha)	0,00	1,82	0,00	1,87				
Gießen, direkt	E(K) (€/ha)	23,70	23,90	23,74	23,98	3,25	2,90	3,50	3,05
	D10_90 (€/ha)	0,00	1,75	0,00	2,01				
Teterow, wendend	E(K) (€/ha)	28,72	29,72	55,44	65,07	4,95	3,95	13,60	6,65
	D10_90 (€/ha)	0,03	3,31	0,00	48,78				
Teterow, direkt	E(K) (€/ha)	23,72	25,23	47,34	58,79	3,90	3,05	10,60	5,20
	D10_90 (€/ha)	0,00	3,44	0,00	47,35				

Q = Quantil

E(K) = Erwartungswert der Kosten

D10_90 (€/ha) = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0.10) und Q(0.90)

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 4: Erwartungswert und Streuungsmaß der Aussaatkosten der Risikoalternativen für Sommergerste bei 4 m Arbeitsbreite

		ohne Windauflage		mit Windauflage		Maschinenanzahl (n) ohne Windauflage		Maschinenanzahl (n) mit Windauflage	
Standort, Anbauverfahren	Erwartungswert und Streuungsmaß	M _{av} Q(0.10)	M _{wa} Q(0.40)	M _{av} Q(0.10)	M _{wa} Q(0.40)	M _{av} Q(0.10)	M _{wa} Q(0.40)	M _{wa} Q(0.10)	M _{wa} Q(0.40)
Gießen, wendend	E(K) (€/ha)	34,47	56,85	34,47	58,30	4,95	3,05	5,80	3,40
	D10_90 (€/ha)	0,00	115,27	0,00	146,82				
Gießen, direkt	E(K) (€/ha)	29,58	51,64	28,57	53,65	3,75	2,35	4,45	2,60
	D10_90 (€/ha)	0,00	111,77	0,00	146,82				
Teterow, wendend	E(K) (€/ha)	39,32	54,23	78,46	100,27	8,65	5,60	24,55	9,15
	D10_90 (€/ha)	0,00	65,86	0,00	287,85				
Teterow, direkt	E(K) (€/ha)	32,44	48,23	66,89	93,20	6,60	4,30	18,75	7,00
	D10_90 (€/ha)	0,00	63,75	0,00	287,73				

Q = Quantil

E(K) = Erwartungswert der Kosten

D10_90 (€/ha) = Abstand zwischen den Aussaatkosten von Q(0.10) und Q(0.90)

Quelle: Eigene Berechnungen

Eine Ausnahme bildet der Standort Gießen bei Sommergerste (direkt, M_{wa}), wo die Kosten trotz erhöhter Maschinenanzahl sinken. Erklärung für dieses Paradoxon liefert Tabelle 5, die die diskret berechnete Verteilungsfunktion für das Direktsaat-Anbauverfahren für Sommergerste in Gießen in tabellarischer

Form darstellt. Dabei wird deutlich, dass M_{av} mit Windauflage nur in den Quantilen 100 und 95 günstiger ist als ohne Windauflage. Dies lässt sich damit erklären, dass die Differenz der FAT ohne und mit Windauflage gering ist (siehe Anhang Tabelle 7). Daher führt die höhere Maschinenanzahl bei den Quantilen 100 und 95, wo die Anzahl an FAT am geringsten ist und somit das Risiko von Ertragsverlusten am höchsten ist, zu einem Kostenvorteil. Erst ab dem 90 Quantil ist M_{av} ohne Windauflage wieder günstiger. In Teterow tritt dieses Paradoxon wesentlich seltener auf, da die Anzahl der FAT durch die Windauflage stärker abnimmt als in Gießen. Wenn beispielsweise 0 FAT mit einer Wahrscheinlichkeit von 100% zur Verfügung stehen, ist die Mechanisierungsalternative mit Windauflage immer ungünstiger, da trotz des gleichen Ertragsverlusts im Vergleich zur Mechanisierungsalternative ohne Windauflage die Anzahl der Maschinen höher ist.

Tabelle 5: Verteilungsfunktionen für das Direktsaat-Anbauverfahren für Sommergerste in Gießen bei 4 m Arbeitsbreite

Quantil	M_{av} ohne Windauflage	M_{av} mit Windauflage
100	201,85	166,92
95	57,27	49,85
90 bis 0	23,42	23,68

Quelle: Eigene Berechnungen

Es zeigt sich, dass die Kostenunterschiede zwischen den Risikoalternativen und bezüglich der Windauflage in Gießen wesentlich geringer sind als in Teterow.

Bei Winterweizen gibt es ohne Windauflage beim wendenden und direkten Anbauverfahren nur geringe Unterschiede (≤ 1 Maschine) zwischen den Risikoalternativen. Überraschenderweise führt die risikoaverse Alternative M_{av} immer zu geringeren Aussaatkosten als die weniger risikoaverse Mechanisierung M_{wa} . Beim Vergleich des Streuungsmaßes D_{10_90} zeigt sich, dass es fast ausschließlich bei M_{wa} zu einer Streuung der Kosten kommt. Eine Ausnahme bildet das wendende Saatverfahren bei Winterweizen in Teterow, wo ohne Windauflage eine marginale Streuung und mit Windauflage keine Streuung der Kosten auftritt. Abgesehen von dieser Ausnahme zeigt sich wie erwartet in den meisten Fällen, dass die Windauflage zu einer erhöhten Streuung der Kosten führt, was den Unterschied zwischen den beiden Risikoalternativen weiter verstärkt.

5. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Windauflage hauptsächlich den Standort Teterow betrifft, während die Auswirkungen auf den Standort Gießen gering sind. An beiden Standorten steigen tendenziell die Kosten und die Streuung der Kosten, wobei diese Effekte für Teterow bedeutender sind. Entgegen der Hypothese führt eine großzügigere Maschinenausstattung tatsächlich zu Kosteneinsparungen aufgrund des stärkeren Kosteneffekts des Ertragsverlusts durch nicht optimale Saatzeitfenster. Dieses Erkenntnis steht im Widerspruch zu früheren Studien, die auf ein ungenutztes Einsparungspotenzial durch risikoaverses Handeln von Landwirten hinweisen. Die Berechnung der optimalen durchschnittlichen Maschinenzahl pro 1000 ha ist auch für kleinere Betriebe relevant, da sie im Dezimalbereich erfolgt. Bei einer geringeren Fläche würden unter den Annahmen fast ausschließlich günstige Saatzeitfenster genutzt werden, was zu minimalen oder keinen Ertragsverlusten führen würde und somit keine Erhöhung der Maschinenanzahl erfordern würde. Die günstigste Anpassung an die Windauflage besteht in der Erhöhung der Maschinenanzahl. Veränderte Rahmenbedingungen könnten zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Die Annahme eines neutralen Deckungsbeitrags bei ungünstigen Bedingungen ist diskussionswürdig, da sie die Anpassungsoptionen der Landwirte einschränkt. Ein negativer Deckungsbeitrag wurde ausgeschlossen, da er ökonomisch nicht sinnvoll ist. Der Anbau einer Alternativkultur mit höherem Deckungsbeitrag anstelle einer neutralen Deckungsbeitragskultur ist grundsätzlich möglich, aber aufgrund begrenzter Feldarbeitstage nicht im gleichen Zeitraum umsetzbar. Diese Alternative bleibt unberücksichtigt. Neben der Erhöhung der Anzahl von Sämaschinen gibt es weitere Möglichkeiten zur Anpassung an die Windauflage in der Realität. Als Alternative zur Erhöhung der Maschinenanzahl könnte die Arbeitszeit erhöht, die Fahrgeschwindigkeit bei der Aussaat gesteigert und die Arbeitsbreite vergrößert werden. Da keine Daten zu potenziellen Ertragsverlusten durch schnelleres Fahren vorliegen, wird diese Möglichkeit nicht berücksichtigt. Es wird angenommen, dass Landwirte bereits mit optimaler Geschwindigkeit aussäen. Zudem wurde gezeigt, dass die Optimierung der Aussaatkosten durch die Erhöhung der Maschinenanzahl bei 4 m Arbeitsbreite immer zu einem optimalen Ergebnis führt, unabhängig von anderen Faktoren. Unter den hier getroffenen Annahmen ist die Erhöhung der Arbeitsbreite in keiner Situation kosteneffizient. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass unter anderen Bedingungen eine erhöhte Arbeitsbreite anstelle der Maschinenanzahl zu einer kosteneffizienten Aussaat führen könnte. Die gewonnenen Daten zu Kostensteigerungen und Risikoalternativen können genutzt werden, um die Auswirkungen der Windauflage auf verschiedene Standorte, Regionen und Anbaupflanzen genauer zu untersuchen. Dieser Artikel liefert grundlegende Informationen für weitere Berechnungen.

Literaturverzeichnis

Augter, G. (1990) Neue Daten zu verfügbaren Feldarbeitstagen. Landtechnik, 45 (7+8), 305-307.

Boese, L. (2006) Kaum ertragswirksam. Neue Landwirtschaft, 2006 (3), 46-47.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2022) Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland mit Informationen über beendete Zulassungen. URL: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_uebersichtsliste.pdf?__blob=publicationFile&v=14, (22.04.2022).

Davis, T. D. and Patrick, G. F. (2002) The Effect of Producers' Risk Attitudes on Sizing the Harvest and Onfarm Drying System. Canadian Journal of Agricultural Economics, 50, 1-14.

Deutscher Wetterdienst (2022) CDC-OpenData. URL: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/ (17.05.2022).

Donaldson, G. F. (1968) Allowing for Weather Risk in Assessing Harvest Machinery Capacity. American Journal of Agricultural Economics, 50, 24-40.

DORMANN, C. F. (2013) Parametrische Statistik - Verteilungen, maximum likelihood und GLM in R. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin.

Dyer, J. A. and Baier, W. (1979) Weatherbased estimation offield workdays in fall. Canadian Agricultural Engineering, 21 (2), 119-122.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2022) KTBL Web-Anwendungen. URL: <https://www.ktbl.de/webanwendungen/> (10.03.2022).

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2018) Betriebsplanung Landwirtschaft 2018/2019 - KTBL-Datensammlung. Darmstadt: KTBL.

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (2014) Versuchsbericht 2014 Gade-gast. URL: https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/koernerfruechte/vb13_wigetreide_term_sorte.pdf (17.05.2022).

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (2020) Anbautelegramm Getreide. URL: <https://www.landwirtschaft-mv.de/static/LFA/Dateien/Anbautelegramm%20Getreide.pdf> (20.11.2021).

Landesverband Bayerischer Saatgetreideerzeuger-Vereinigungen e.V (2019) Grundpreisinformation Herbst 2019 - wichtige weitere Informationen. URL: https://www.baypmuc.de/sgv/sgv-download/sgv_rs_20190902.pdf (02.01.2022).

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2020) Winterweizen - Anbautechnik. URL: https://www.lksh.de/fileadmin/PDFs/PDF_Archiv/Ackerkulturen/Winterweizen/Winterweizen_Anbautechnik_.pdf (05.05.2020).

Lips, M., Finger, R. und Calanca, P. (2008) Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf Risiko und Kosten der Weizenernte. Yearbook of Socioeconomics in Agriculture, 2008, 219-232.

Lips, M. and Bolli, S. (2007) Weather risk and machinery costs - A Monte Carlo simulation for the wheat harvest. Paper presented at the 101st EAAE Seminar "Management of Climate Risks in Agriculture", July 05-06, 2007. Berlin.

Luder, W. (1984) Mähdrusch: Verfügbare Zeit, erforderliche Kapazität, Kosten. FAT-Blätter für Landtechnik, 248.

Ramaratnam, S. S., Rister, E. M., David B. A. and Novak, J. (1986) Risk attitudes and farm/producer attributes: A case study of texas coastal bend grain sorghum producers. Southern journal of agricultural economics, 1986 (12), 85-95.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2001) Getreide im ökologischen Landbau. URL: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13628/documents/15617> (10.03.2022).

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2015) Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Winterweizen. URL: http://www.tll.de/www/daten/publikationen/leitlinien/ll_ww.pdf (30.04.2022).

Anhang

Tabelle 6: Saatzeitspannen

	sehr früh	früh	optimal	spät	sehr spät
Winterweizen, Gießen	20.09. - 30.09.	01.10. - 19.10.	01.10. - 19.10.	-	20.10. - 31.10.
Winterweizen, Teterow	01.09. - 09.09.	10.09. - 24.09.	25.09. - 14.10.	-	15.10. - 25.10.
Sommergerste, beide Standorte*	-	-	01.03. - 31.03.	01.04. - 07.04.	

* für Sommergerste sind keine standortspezifischen Daten verfügbar

Quelle: Eigene Darstellung nach Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2015; Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, 2020; Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 2020 und Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2001

Tabelle 7: Feldarbeitstage nach Aussaatzeitspannen

	sehr früh	früh	optimal	spät	sehr spät	sehr früh	früh	optimal	spät	sehr spät
Winterweizen, Gießen	8,00	13,00	16,00	-	8,00	7,00	12,00	15,00	-	8,00
Winterweizen, Teterow	6,20	7,40	14,20	-	7,20	3,00	4,00	7,20	-	1,20
Sommergerste, Gießen	-	-	17,00	5,00	-	-	-	15,00	5,00	-
Sommergerste, Teterow	-	-	10,20	4,00	-	-	-	4,40	2,00	-

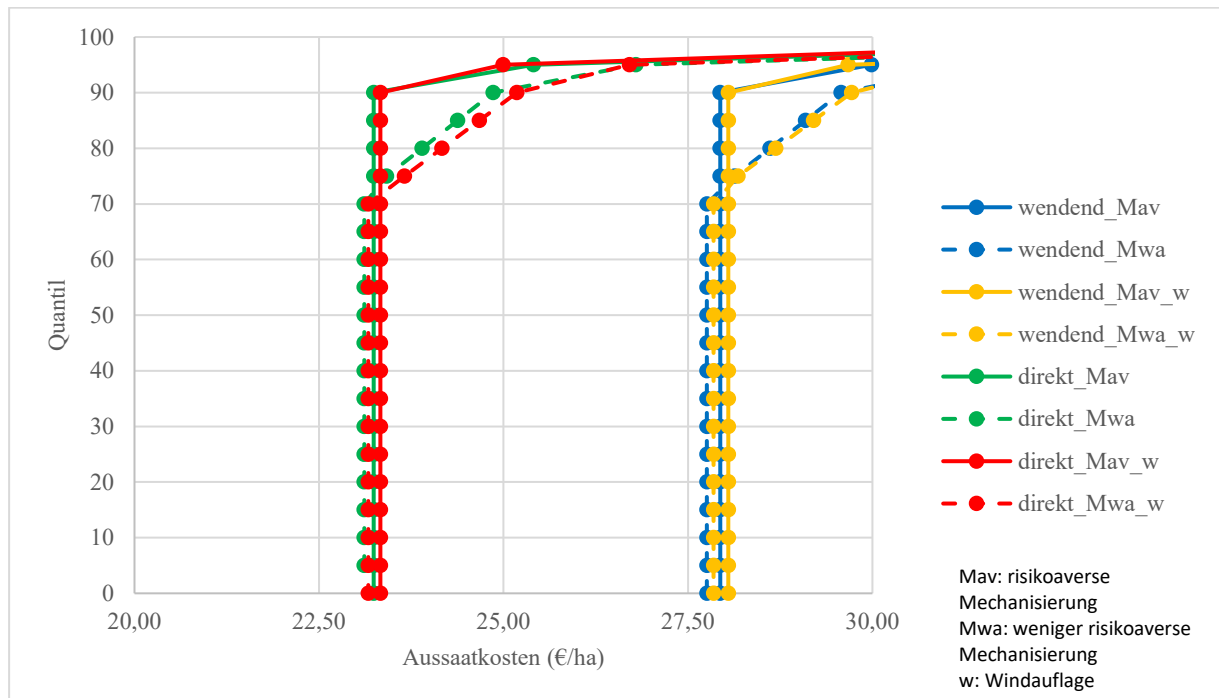
Quelle: Eigene Berechnung

Tabelle 8: Erträge in Abhängigkeit der Saatzeitspannen

	sehr früh	früh	optimal	spät	sehr spät
Winterweizenertrag (dt/ha)	75,98	78,21	80,00	-	79,02
Sommergerstenertrag (dt/ha)	-	-	60,00	52,03	-

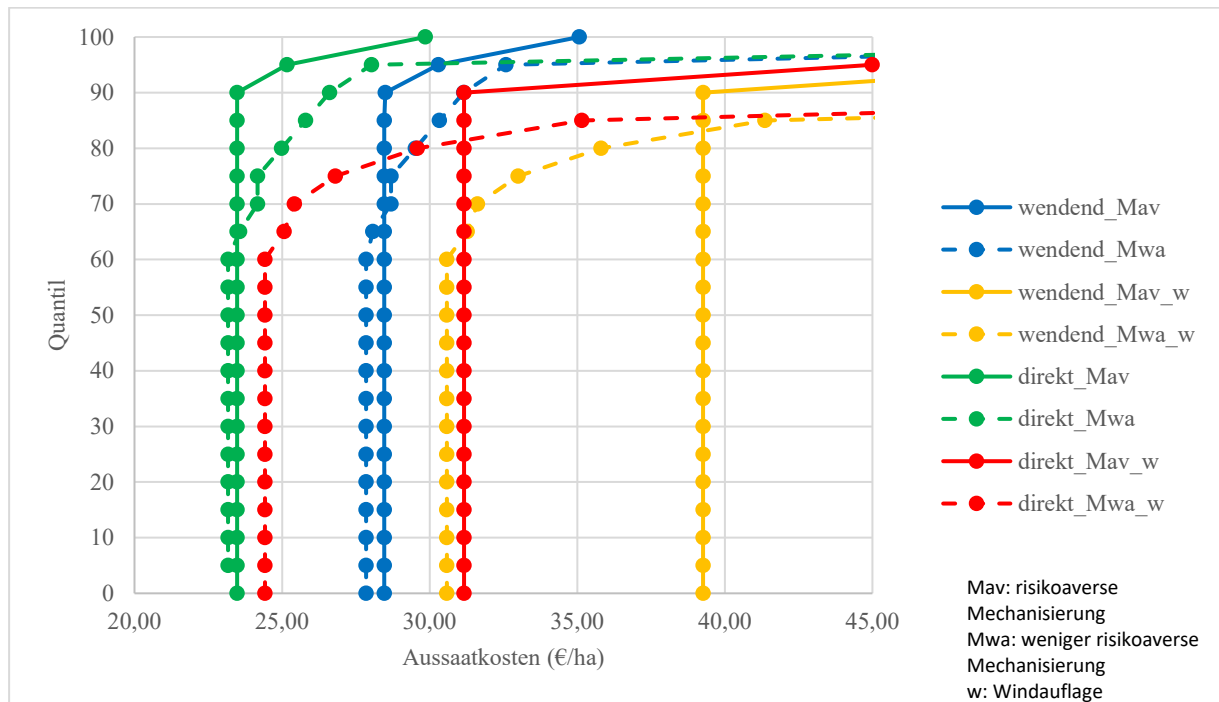
Quelle: Eigene Berechnungen nach Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2014; Boese, 2001 und KTBL, 2018, 267 und 298

Abbildung 5: Aussaatkosten der Risikoalternativen nach Quantilen für Winterweizen in Gießen für das wendende und das Direktsaat-Anbauverfahren bei einer Arbeitsbreite von 4 m ohne und mit Windauf-
lage



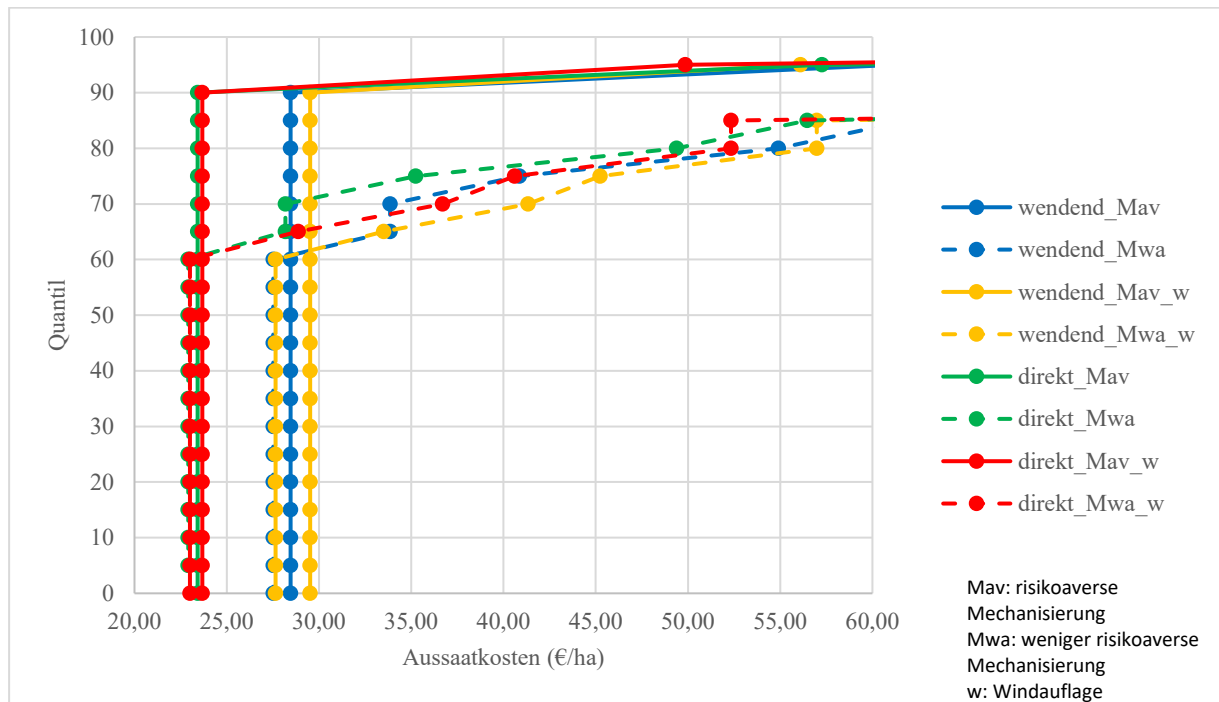
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 6: Aussaatkosten der Risikoalternativen nach Quantilen für Winterweizen in Teterow für das wendende und das Direktsaat-Anbauverfahren bei einer Arbeitsbreite von 4 m ohne und mit Windauf-
lage



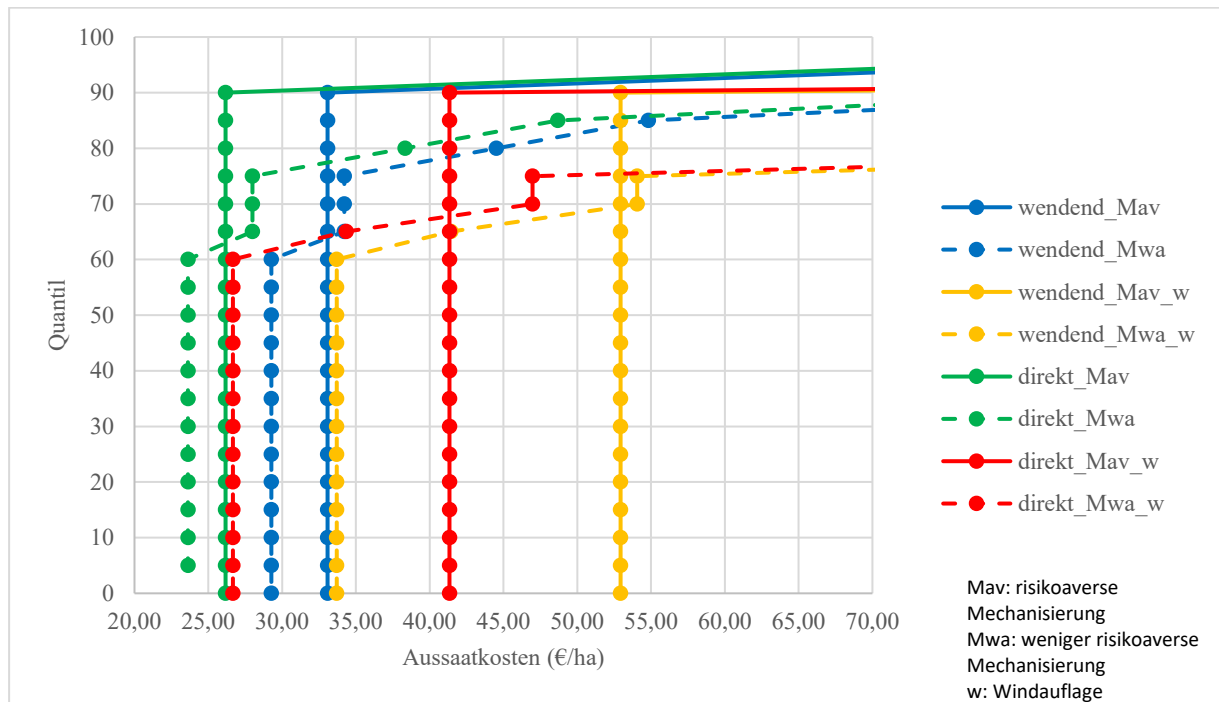
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 7: Aussaatkosten der Risikoalternativen nach Quantilen für Sommergerste in Gießen für das wendende und das Direktsaat-Anbauverfahren bei einer Arbeitsbreite von 4 m ohne und mit Windauf-
lage



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 8: Aussaatkosten der Risikoalternativen nach Quantilen für Sommergerste in Teterow für das wendende und das Direktsaat-Anbauverfahren bei einer Arbeitsbreite von 4 m ohne und mit Windauflage



Quelle: Eigene Berechnungen