

# Auswirkungen von Flächengröße und Flächenform auf Wendezeiten, Arbeitserledigung und verfahrenstechnische Maßnahmen im Ackerbau

Inauguraldissertation zur Erlangung des Doktorgrades ( Dr. agr. )  
beim Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und  
Umweltmanagement  
der Justus – Liebig – Universität, Gießen  
am Institut für Landtechnik

Eingereicht von  
Dipl.-Ing. agr. Heiko Engelhardt

Gießen, im Dezember 2004

1. Gutachter: Prof. Dr. H. Seufert
2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h.c. W. Opitz von Boberfeld

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung und Problemstellung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung.....	3
1.2	Zielsetzung.....	6
<b>2</b>	<b>Stand des Wissens.....</b>	<b>8</b>
2.1	Arbeits erledigungskosten der Flächenbewirtschaftung.....	8
2.2	Auswirkungen von Flächengrößen.....	11
2.3	Auswirkungen unterschiedlicher Flächenformen.....	15
2.4	Erkenntnisstand.....	16
<b>3</b>	<b>Material und Methode.....</b>	<b>17</b>
3.1	Material.....	17
3.1.1	Versuchsstandort.....	17
3.1.2	Auswahl der Verfahrenstechnik.....	17
3.2	Methode.....	21
3.2.1	Flächengeometrie.....	21
3.2.2	Kausale Zeitermittlung.....	22
3.2.2.1	Zeitelementmethode.....	23
3.2.2.2	Erstellen von Planzeiten.....	24
3.2.3	Kosten-Leistungs-Rechnung.....	25
3.2.3.1	Kostenrechnungssysteme.....	26
3.2.3.2	Kostenrechnungssysteme nach Umfang und Art der Verrechnung	26
3.2.3.3	Auswahl eines Kostenrechnungssystems.....	27
<b>4</b>	<b>Formenvielfalt und Flächenkonfiguration.....</b>	<b>29</b>
4.1	Flächenformen.....	31
4.1.1	Das Quadrat.....	32
4.1.2	Das Rechteck.....	33
4.1.3	Das gleichschenklige Dreieck.....	33

4.1.4	Das spitzwinklige Dreieck.....	34
4.2	Flächengrößen.....	35
<b>5</b>	<b>Modellentwicklung.....</b>	<b>37</b>
5.1	Aufgabe des Arbeitsmodells.....	37
5.2	Beschreibung der Modellvariablen.....	39
5.3	Geometrische Formen im Arbeitsmodell.....	40
5.3.1	Das Rechteck im Arbeitsmodell.....	40
5.3.2	Das Quadrat im Arbeitsmodell.....	41
5.3.3	Das gleichschenklige Dreieck im Arbeitsmodell.....	41
5.3.4	Das spitzwinklige Dreieck im Arbeitsmodell.....	43
5.4	Das Arbeitsmodell.....	45
5.4.1	Arbeitsablauf und Zeitfunktion im Rechteck.....	46
5.4.2	Arbeitsablauf und Zeitfunktion im gleichschenkligen Dreieck.....	49
5.4.3	Arbeitsablauf und Zeitfunktion im spitzwinkligen Dreieck.....	51
<b>6</b>	<b>Zeitermittlung von Wendevorgängen im Praxisversuch.....</b>	<b>54</b>
6.1	Beschreibung der Wendevorgänge.....	54
6.2	Versuchsaufbau.....	58
6.2.1	Fläche und Arbeitsbedingungen.....	58
6.2.2	Arbeitsablauf und Durchführung der Zeitmessung.....	61
6.2.3	Ergebnis der Zeitmessung.....	62
<b>7</b>	<b>Modellanwendung und Ergebnisdarstellung.....</b>	<b>66</b>
7.1	Fläche des Vorgewendes.....	66
7.2	Wendezeitanteile.....	69
7.2.1	Wendezeitanteile im Rechteck.....	70
7.2.2	Wendezeitanteile im Quadrat.....	73
7.2.3	Wendezeitanteile im gleichschenkligen Dreieck.....	76
7.2.4	Wendezeitanteile im spitzwinkligen Dreieck.....	79
7.3	Flächenleistung der Arbeitsgeräte bei unterschiedlichen Flächengrößen und Flächenformen.....	84

---

<b>8</b>	<b>Ökonomische Bewertung der Arbeitserledigung.....</b>	<b>94</b>
8.1	Teilkostenrechnung.....	94
8.2	Matrix der Arbeitserledigungskosten.....	94
8.2.1	Arbeitserledigungskosten der Mechanisierungsvariationen.....	98
8.2.2	Arbeitszeitaufwand der Mechanisierungsvariationen.....	102
<b>9</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>105</b>
9.1	Vorgewende.....	106
9.2	Wendevorgänge.....	108
9.3	Flächenleistung.....	109
9.4	Arbeiterledigungskosten.....	110
9.5	Schlussfolgerung.....	112
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>114</b>
<b>11</b>	<b>Summary.....</b>	<b>117</b>
<b>12</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>121</b>

**Verzeichnis der Abbildungen**

<b>Abb. 1-1:</b>	Arbeits- und Maschinenaufwand im Ackerbau.....	2
<b>Abb. 4-1:</b>	Auszug aus einer Katasterkarte (Wetteraukreis).....	30
Abb. 5-1:	Das Rechteck im Arbeitsmodell.....	41
Abb. 5-2:	Das gleichschenklige Dreieck im Arbeitsmodell.....	42
Abb. 5-3:	Das spitzwinklige Dreieck im Arbeitsmodell.....	44
Abb. 5-4:	Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Stoppelgrubber, Pflug, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination und Direktsaatmaschine im Rechteck.....	47
Abb. 5-5:	Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer im Rechteck.....	48
Abb. 5-6:	Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Stoppelgrubber, Pflug, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination und Direktsaatmaschine im gleichschenkligen Dreieck.....	49
Abb. 5-7:	Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer im gleichschenkligen Dreieck.....	50
Abb. 5-8:	Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Stoppelgrubber, Pflug, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination und Direktsaatmaschine im spitzwinkligen Dreieck.....	51
Abb. 5-9:	Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer im gleichschenkligen Dreieck.....	53
Abb. 6-1:	Figuren der Wendevorgänge Nr. 1-7.....	55
Abb. 6-2:	Figuren der Wendevorgänge Nr. 8-14.....	56
Abb. 6-3:	Figuren der Wendevorgänge Nr. 15-20.....	57
Abb. 6-4:	Bodenfeuchte und Temperatur am 10.09.2004.....	60
Abb. 6-5:	Bodenfeuchte und Temperatur am 13.09.2004.....	60
Abb. 6-6:	Beispiel eines Messprotokolls.....	61
Abb. 7-1:	Größe des Vorgewendes bei unterschiedlichen Flächengrößen und Flächenformen.....	69
Abb. 7-2:	Vorgewende im Rechteck und spitzwinkligen Dreieck.....	82
Abb. 8-1:	Arbeiterledigungskosten im Getreidebau nach Flächengröße und Flächenform.....	101
Abb. 9-1:	Ertragsminderung durch das Vorgewende in Prozent vom theoretischen Gesamtertrag.....	106

**Verzeichnis der Tabellen**

Tab. 1-1:	Gewinn- und Verlustrechnung von Ackerbaubetrieben im Haupterwerb <sup>1)</sup> im WJ 2002/03.....	1
Tab. 1-2:	Zahl der Schläge in Hessen innerhalb der Flächensystematik.....	3
Tab. 1-3:	Durchschnittliche Schlaggröße in Hessen.....	4
Tab. 3-1:	Mechanisierungsvariation der Gruppe A.....	20
Tab. 3-2:	Mechanisierungsvariation der Gruppe B.....	20
Tab. 3-3:	Mechanisierungsvariation der Gruppe C.....	21
Tab. 6-1:	Breite des Vorgewendes bei unterschiedlichen Mechanisierungsvariationen.....	59
Tab. 6-2:	Häufigkeit von Messabweichungen beider Zeitnehmer beim Zeitnehmen der Wendevorgänge (n = 100).....	63
Tab. 6-3:	Messwerte und Bildung des arithmetischen Mittels am Beispiel des Wendevorganges Nr. 1 (Maschinenvariation A, Rechteck, Pflügen).....	64
Tab. 6-4:	Statistische Werte der Planzeitelemente.....	65
Tab. 7-1:	Anteil des Vorgewendes an der Gesamtfläche bei Maschinenvariation A (Vorgewende = 9 m) und einem Seitenverhältnis der Fläche von 1 : 2.....	67
Tab. 7-2:	Anteil des Vorgewendes an der Gesamtfläche bei Maschinenvariation B (Vorgewende = 36 m) und einem Seitenverhältnis der Fläche von 1 : 2.....	68
Tab. 7-3:	Wendezeitanteile im Rechteck (Mechanisierungsvariation A) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung.....	71
Tab. 7-4:	Wendezeitanteile im Rechteck (Mechanisierungsvariation B) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung.....	72
Tab. 7-5:	Wendezeitanteile im Quadrat (Mechanisierungsvariation A) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung.....	74

Tab. 7-6:	Wendezeitanteile im Quadrat (Mechanisierungsvariation B) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung.....	75
Tab. 7-7:	Wendezeitanteile im gleichschenkligen Dreieck (Mechanisierungsvariation A) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung.....	77
Tab. 7-8:	Wendezeitanteile im gleichschenkligen Dreieck (Mechanisierungsvariation B) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung.....	78
Tab. 7-9:	Wendezeitanteile im spitzwinkligen Dreieck (Mechanisierungsvariation A) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung.....	80
Tab. 7-10:	Wendezeitanteile im spitzwinkligen Dreieck (Mechanisierungsvariation B) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung.....	81
Tab. 7-11:	Wendezeiten beim Pflügen mit einem 6-Schar-Pflug im Rechteck und spitzwinkligen Dreieck.....	83
Tab. 7-12:	Flächenleistung eines Stoppelgrubbers (3 m) der Mechanisierungsvariation A nach Flächengröße und Flächenform mit grafischer Darstellung.....	85
Tab. 7-13:	Flächenleistung eines Pfluges (1,50 m) der Mechanisierungsvariation A nach Flächengröße und Flächenform mit grafischer Darstellung.....	86
Tab. 7-14:	Flächenleistung einer Kreiselegge-Sämaschinenkombi. (3 m) der Mechanisierungsvariation A nach Flächen-größe und Flächenform mit grafischer Darstellung.....	87
Tab. 7-15:	Flächenleistung von Pflanzenschutzspritze und Dünger-streuer (15 m) der Mechanisierungsvariation A nach Flächengröße und Flächenform mit graf. Darstellung.....	88
Tab. 7-16:	Flächenleistung eines Stoppelgrubbers (6 m) der Mechanisierungsvariation B nach Flächengröße und Flächenform mit grafischer Darstellung.....	89
Tab. 7-17:	Flächenleistung eines Pfluges (3 m) der Mechanisierungsvariation B nach Flächengröße und Flächenform mit grafischer Darstellung.....	90

Tab. 7-18:	Flächenleistung einer Kreiselegge-SämaschinenKombi. (6 m) der Mechanisierungsvariation B nach Flächen-größe und Flächenform mit grafischer Darstellung.....	91
Tab. 7-19:	Flächenleistung von Pflanzenschutzspritze und Dünger-streuer (36 m) der Mechanisierungsvariation B nach Flächengröße und Flächenform mit graf. Darstellung.....	92
Tab. 7-20:	Flächenleistung einer Direktsaatmaschine (6 m) der Mechanisierungsvariation C nach Flächengröße und Flächenform mit grafischer Darstellung.....	93
Tab. 8-1:	Kostenmatrix der Arbeitserledigungskosten der Grundzeit in der Mechanisierungsvariation A für Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandspflege im Getreideanbau.....	95
Tab. 8-2:	Kostenmatrix Arbeitserledigungskosten der Grundzeit in der Mechanisierungsvariation B für Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandspflege im Getreideanbau.....	96
Tab. 8-3:	Kostenmatrix der Arbeitserledigungskosten der Grundzeit in der Mechanisierungsvariation C für Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandspflege im Getreideanbau.....	97
Tab. 8-4:	Arbeitserledigungskosten in €/ha der Grundzeit für die Mechanisierungsvariation A, B und C.....	100
Tab. 8-5:	Arbeitszeitaufwand in AKh/ha in der Grundzeit für die Mechanisierungsvariation A, B und C.....	103
Tab. 9-1:	Übersicht der Maschinenvariationen A, B und C.....	105

**Verzeichnis der Abkürzungen**

AK	Arbeitskraft
Akh	Arbeitskraftstunde
AKmin	Arbeitskraftminute
AKs	Arbeitskraftsekunde
°C	Grad Celsius
ct	Cent
dt	dezi Tonne
€	Euro
ha	Hektar
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
KTBL	Kuratorium für Technik Und Bauwesen in der Landwirtschaft
KW	kilo Watt
l	Liter
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
min	Minuten
MJNEL	Mega Joule Netto Energie Laktation
PfSchutz	Pflanzenschutz
ÜMV	Überbetrieblichen Maschinenverwendung
v.H.	von Hundert ; in Prozent
Vol. %	Volumenprozent
sL	sandiger Lehm
Sp	Spalte
Z	Zeile

**1 Einleitung**

Während die Marktordnungsgesetze der Bundesrepublik Deutschland von Anfang der 50er Jahre noch ausschließlich dem Schutz der Verbraucher vor relativ hohen Weltmarktpreisen dienen sollten, fungierten die Marktordnungen der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft von 1958 unter dem Eindruck der Produktions- wie auch der allgemeinen Wohlstandssteigerung bereits als Schutz für landwirtschaftliche Einkommen. Der Produktivitätsanstieg führte dazu, dass heute ein Landwirt über 130 Menschen (1950 = 10 Menschen) mit Nahrungsmittel versorgt und gleichzeitig die Ausgaben eines Durchschnittshaushalts für die Ernährung auf unter 15 % des verfügbaren Einkommens (1950 = 50 %) gesunken sind. Diese Entwicklung war und ist gekennzeichnet von einer Nutzenmaximierung, die vorrangig einer Kostenminimierung folgt, bei gleichzeitigem Größenwachstum der verbleibenden Betriebe. Dennoch zeigt die Gewinn- und Verlustrechnung deutscher Haupterwerbsbetriebe äußerst unbefriedigende Ergebnisse mit der Folge, dass die Entlohnung der Familienarbeitskräfte nur durch einen Rückgriff auf Abschreibungen und Eigenkapitalverzinsung möglich ist, wodurch die Stabilität der Betriebe durch reduzierte Zukunftsinvestitionen deutlich gefährdet ist (Tab. 1-1).

Tabelle 1-1: Gewinn- und Verlustrechnung von Ackerbaubetrieben im Haupterwerb<sup>1)</sup> im WJ 2002/03

	Gewinn	Fläche	Fam.-AK <sup>2)</sup>	Eigenkapital	Abschreibungen	Theoret. Entlohnung <sup>3)</sup>
	€/Untern.	ha LF	nAK	€/ha LF	€/ha LF	€/nAK
Sachsen-Anhalt	45.617	275,2	1,5	1.107	124	1.569
Niedersachsen	36.153	112,4	1,3	9.596	212	-15.410
Hessen	26.362	75,8	1,4	5.788	221	-2.537
Bayern	31.346	62,3	1,3	12.779	297	-8.493
Deutschland	33.639	107,0	1,3	6.649	202	-7.168

Quelle: BMVEL 2004, eigene Berechnungen

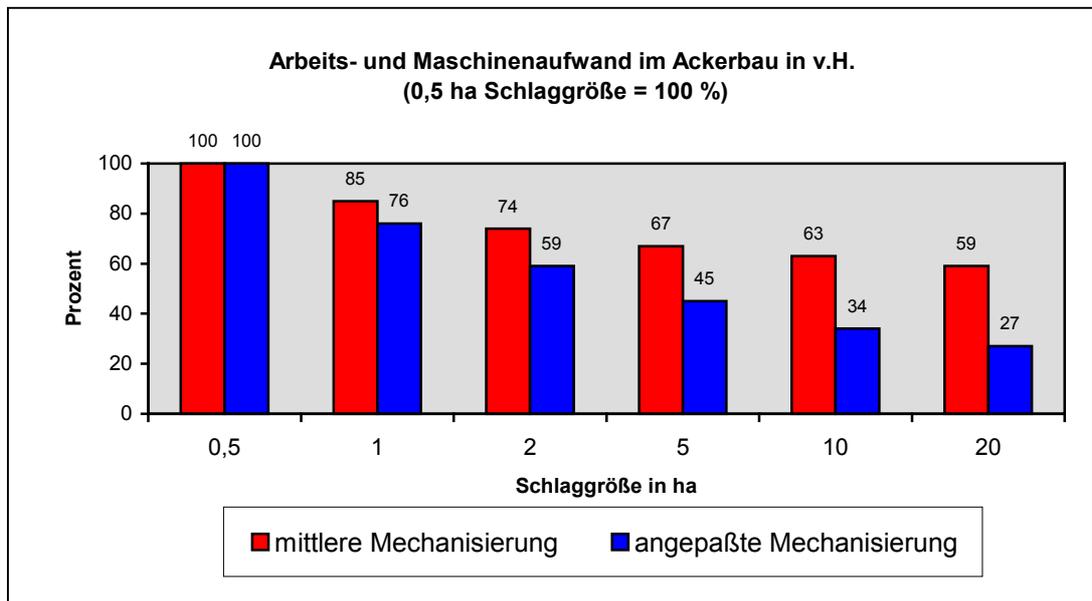
1) Einzelunternehmen und Personengesellschaften

2) Nicht entlohnte Familienarbeitskräfte

3) Gewinn abzgl. Eigenkapitalbildung (3 % des Eigenkapitals) und Abschreibungen

Die Ergebnisse der Gewinn- und Verlustrechnung deutscher Ackerbaubetriebe zeigt die Notwendigkeit der Kostensenkung zur Erhöhung der Betriebsrentabilität. Allerdings sind die Nutzflächenstrukturen vieler Unternehmen unzureichend auf ein erforderliches betriebliches Wachstum abgestimmt und verursachen hierdurch zu hohe Arbeitserledigungskosten.

In Bezug auf die Schlaggröße ist der negative ökonomische Effekt kleiner Schläge bekannt und SCHMIDT (1998) beziffert die Einsparung von Lohn- und Maschinenkosten im Zuckerrübenanbau bei einer Erhöhung der Schlaggröße von 0,5 auf 5 Hektar und einer „mittleren Maschinenausstattung“ mit rund 20%. Werden Maschinen überbetrieblich eingesetzt und die Maschinenausstattung „mittelfristig angepasst“ können nach SCHMIDT auf Schlägen > 5 Hektar weitere Kosteneinsparungen erzielt werden (Abb. 1-1).



Quelle: SCHMIDT (1998), DLG-Mitteilungen S. 22

Abbildung: 1-1: Arbeits- und Maschinenaufwand im Ackerbau

## 1.1 Problemstellung

Zur Zeit der Dreifelderwirtschaft waren die Gewanne in lange schmale Streifen unterteilt. Die Größe solcher Parzellen lag im Durchschnitt bei 0,25 bis 0,5 ha und resultierte aus der Pflugleistung gemessen in Morgen oder Tagwerk. Mit der Auflösung der Dreifelderwirtschaft und der Aufteilung der Allmende wurde in Preußen die Flurzerrsplitterung beseitigt und Flurstücke mit Wegeanbindung geschaffen. Gesetzliche Grundlage war hierfür die Gemeinheitsteilungsordnung von 1821. Während in den Anerbengebieten die Flurstücke sich kaum veränderten, folgte in den Realteilungsgebieten erneut eine Zersplitterung, die durch Flurneuordnung zum Teil mehrfach bereinigt werden musste, aber bis heute nur unzureichende Flächengrößen und Flächenformen für eine effiziente Mechanisierung hervorbrachte.

Am Beispiel des Bundeslandes Hessen können diese unzureichenden Flächenstrukturen für Westdeutschland nachvollzogen werden. Aus den Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems des Landes Hessen zur Verwaltungsabwicklung der EU-Flächenbeihilfen kann entnommen werden (HDLGN, 2004), dass die Landwirte im Bundesland über 749.886 Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche verfügen und diese in 1,25 Mill. Schläge aufgeteilt ist (Tab. 1-2).

Tabelle 1-2: Zahl der Schläge in Hessen innerhalb der Flächensystematik

	Schläge Zahl	Beantragte Fläche (InVeKoS) ha
Ackerfläche	646.666	455.028
Grünland* und Ackerfutterfläche	582.825	286.708
Dauerkulturen	10.649	2.311
Gemüse und Handelsgewächse	9.376	5.839
Summe	1.249.516	749.886

\* davon 323.697 Schläge Grünland

Quelle: HDLGN, 2004: Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem für EU-Flächenbeihilfe

Rechnerisch folgt daraus eine durchschnittliche Schlaggröße von 0,60 Hektar. Bleiben Stilllegungsflächen und sonstige nicht bewirtschaftete Schläge im Jahr 2004 unberücksichtigt ergibt sich zumindest eine durchschnittliche Schlaggröße von 1,17 Hektar für die tatsächlich bewirtschafteten Flächen. Deutlich fallen nochmals die Unterschiede aus zu Gunsten der Marktfruchtflächen mit einer durchschnittlichen Schlaggröße von 1,36 Hektar gegenüber 0,96 Hektar bei Grünland- und Futterflächen (Tab. 1-3)

Tabelle 1-3: Durchschnittliche Schlaggröße in Hessen

	Ackerland (Marktfruchtflächen) ha	Grünland und Ackerfutterflächen ha
Durchschnitt aller Schläge	1,3646	0,9571
15 % der Schläge sind kleiner als	0,3882	0,1978
30 % der Schläge sind kleiner als	0,5935	0,3469
50 % der Schläge sind kleiner als	0,9492	0,6000
70 % der Schläge sind kleiner als	1,4804	1,0100
85 % der Schläge sind kleiner als	2,2859	1,6560

Quelle: HDLGN, 2004: Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem für EU-Flächenbeihilfe

Wie jedes Unternehmen kann auch ein landwirtschaftliches Unternehmen auf Dauer nur bestehen, wenn die Erzeugungskosten unter der Erzeugerpreisen liegen. Ein sich verschlechterndes Preis-Kosten-Gefüge und die hohe Arbeitsbelastung haben zur Folge, dass sowohl einzelbetrieblich wie auch überbetrieblich zur Senkung der Produktionskosten zunehmend leistungsstarke und schlagkräftige Mechanisierungsverfahren eingesetzt werden, deren tatsächliche Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit zur Geometrie und Topographie landwirtschaftlicher Nutzflächen steht. Hinzu kommt bei wachsenden Betrieben eine steigende Zahl von Bewirtschaftungseinheiten (Schlägen) mit der Folge einer Zunahme von Wege- und Rüstzeiten (Teilzeiten). WAGNER (2001) konnte Teilzeiten von 70 % an der Gesamtarbeitszeit nachweisen. D.h. nur ein Anteil von 30 % wurde tatsächlich zur Bewirtschaftung der Flächen eingesetzt. AUERNHAMMER (2001) weist darauf hin, dass auf klein strukturierten Flächen Wendevorgänge, Randstreifen-

effekte und Überlappungen bei der maschinellen Arbeitserledigung die Bewirtschaftungskosten gegenüber großen Flächen erhöhen. Verfahren des freiwilligen Landtausches und auch sogenannte virtuelle Flurbereinigungen ermöglichen heute eine Flexibilität in der Gestaltung von Schlägen, die bisher nur in Ansätzen genutzt wird.

Mit der Bodenreform von 1945/46 und den Kollektivierungsschritten von 1952 und 1971 im Osten Deutschlands verlief die Entwicklung der Schlagstrukturen dort sehr früh hin zu größeren und möglichst rechtwinkligen Schlägen.

Ein Vergleich von Marktfruchtbetrieben aus den Ackerbauregionen westdeutscher Mittelgebirgslagen mit dem gleichen Betriebssystem in den neuen Bundesländern zeigt um den Faktor zwei erhöhte Arbeitserledigungskosten für die kleinstrukturierten westdeutschen Betriebe. Eine Auswertung von Marktfruchtbetrieben mit durchschnittlich 730 ha LF zeigt für die Getreideproduktion Gesamtkosten von 14,50 €/dt bei Arbeitserledigungskosten von 399 €/ha bzw. 5,40 €/dt. Spitzenbetriebe dieser Größenklasse konnten Produktionskosten für Weizen auf 12,30 €/dt nachweisen (DANIELSPANGENBERG, 2000). Dem gegenüber stehen die Ergebnisse bayerischer Marktfruchtbetriebe (STARK, 2003) mit einer durchschnittlichen Betriebsgröße von 88,5 ha LF und Produktionskosten von 24,75 €/dt Getreide. Mit Arbeitserledigungskosten von 805 €/ha bzw. 11,50 €/dt sind diese kleinstrukturierten Ackerbaubetriebe in der Getreideproduktion bereits innerhalb von Deutschland nicht konkurrenzfähig.

Bei einem Anteil der Arbeitserledigungskosten von über 50 % in westdeutschen landwirtschaftlichen Unternehmen an den Produktionskosten (SEUFERT, 2002) ist eine Analyse über den Einfluss von Schlaggröße und Schlagform auf die Verfahrenstechnik im Marktfruchtbau als Verbesserungsansatz geboten.

Hierzu stellt sich, unabhängig von Geographie und Topographie, die Frage nach der optimalen Schlaggröße oder Schlagform. Dass diese in Abhängigkeit zu der gewählten Verfahrenstechnologie mit den wesentlichen Einflussgrößen der Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit steht, darf vermutet werden, aber wie genau definieren sich diese Abhängigkeiten? Welchen Einfluss hat die geometrische Form eines Schlages in Abhängigkeit zur Schlaggröße? Der theoretisch ideale Schlag ist ebenso breit, wie die Arbeitsbreite des eingesetzten Gerätes und ebenso lang, wie die Reichweite von Gerät und Traktor (Tankinhalt von Kraftstoff und Ausbringmengen), zuzüglich der optimalen Hof-Feld-Entfernung unter Beachtung des Nachladens und Auftankens. Diesem Denkansatz folgend wird das Hauptproblem von Schlägen und Schlagformen in der Verursachung von Wendevorgängen deutlich. Diese durch die jeweilige Schlagbegrenzung erforderlichen Wendevorgänge unterbrechen den Arbeitsvorgang und führen zu erheblichen Zeitverlusten in der Arbeitserledigung. Im Zusammenhang mit größeren Arbeitsbreiten auch auf kleinstrukturierten Flächen steht dieser Einfluss von Wendevorgängen auf die Arbeitserledigung unter einer besonderen Fragestellung.

## **1.2 Zielsetzung**

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung des Einflusses von Flächengröße und Flächenform, unter besonderer Beachtung der Auswirkungen daraus resultierender Wendevorgänge, auf die Arbeitserledigungskosten. Hierfür sollen in einem Arbeitsmodell auf der Grundlage von Fahrversuchen in der Praxis Zeitelemente ermittelt und darauf aufbauen Planzeitelemente gestaltet werden. Die Planzeitelemente wiederum sollen der vergleichenden Bestimmung von Arbeitszeitaufwand und Arbeitserledigungskosten in verschiedenen Flächenkonfigurationen dienen.

---

Ausdrücklich soll diese Untersuchung die einzelne Bewirtschaftungseinheit im Blick haben und sich daher ausschließlich auf die Hauptzeit der Bewirtschaftung konzentrieren. Da Rüst- und Wegezeiten, sowie sonstige Teilzeiten, abhängig von einzelbetrieblichen Bedingungen sind und deren Bestimmung und Einfluss bereits ausreichend untersucht wurden (u.a. WAGNER, 2001 / AUERNHAMMER, 2001), wird deren Betrachtung nicht Gegenstand dieser Untersuchung sein.

## 2 Stand des Wissens

### 2.1 Arbeitserledigungskosten der Flächenbewirtschaftung

Die Marktfruchtproduktion ist durch eine vorwiegende Erzeugung von Standardprodukten gekennzeichnet, für die der allgemeine ökonomische Grundsatz gilt, dass unter Einhaltung von Produktqualität und Umweltverträglichkeit Kostenminimierung angestrebt werden muss. Daher bezeichnet KÖHNE (2001) als wichtigste Leitlinie für die Betriebsentwicklung „dass die meisten Betriebe zukünftig wesentlich größer sein müssen als gegenwärtig.“ Diese Auffassung von KÖHNE beruht insbesondere auf der niedrigen Betriebsgröße von durchschnittlich 29 Hektar im früheren Bundesgebiet gegenüber 184 Hektar in den neuen Ländern (BLUMRÖHR, 2004).

Selbst in guten Getreidebaustandorten Schleswig-Holsteins und Niedersachsens liegen die Produktionskosten für Winter-Weizen von 75 ausgewerteten Betrieben mit einer durchschnittlichen Anbaufläche von 67 ha (Ertrag 85 dt/ha) im Mittel bei 15,64 €/dt. Die Arbeitserledigungskosten dieser Betriebe erreichen mit 524 €/ha einen Anteil von 40 % (KLISCHAT, 2003).

DANIELS-SPANGENBERG (2000) weist für die neuen Bundesländer auf 64 untersuchten Betrieben, mit im Durchschnitt 730 ha LF, Produktionskosten von 14,50 €/dt für Winter-Weizen nach (Ertrag 74 dt/ha). Die durchschnittlichen Arbeitserledigungskosten erreichen in diesen Betrieben mit 399 €/ha einen Anteil von 37 % an den Produktionskosten, wobei die 25 Prozent besten Betriebe diesen Wert auf noch 365 €/ha reduzieren. Für DANIELS-SPANGENBERG ist die Betriebsgröße von entscheidender Bedeutung für eine rationelle Bewirtschaftung zur Senkung der Arbeitskraftstunden pro Hektar in einem Bereich von 10 AKh, bei nur 5 Schlepperstunden. Extensive Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat können nach seinen Kalkulationen Einsparungen bei den Arbeitserledigungskosten von 30 % ermöglichen.

KLISCHAT und DANIELS-SPANGENBERG (2000) zeigen beide mit ihren Untersuchungen deutlich, dass die Produktionskosten auch in spezialisierten Getreidebaubetrieben über den Erzeugerpreisen liegen und die landwirtschaftlichen Unternehmen i.d.R. nur durch Zahlung von Flächenbeihilfen aus dem europäischen Agrarhaushalt in der Lage sind, tendenziell ihre Kosten zu decken. In diesem Zusammenhang schreibt DANIELS-SPANGENBERG (2000): „Es empfiehlt sich ab und zu die Flächenprämie unberücksichtigt zu lassen, da es nützlich ist, sich gelegentlich die Relation von Stückkosten und Marktpreisen zu vergegenwärtigen.“

Auf der Basis von KTBL-Planungsunterlagen und Lohnkosten von 10,20 €/AKh beschreibt JANINHOFF (2000b) Arbeitserledigungskosten im Getreidebau bei „einer vorhandenen mittleren Mechanisierung“ für Parzellen von 1 ha von 520 €/ha gegenüber Parzellen mit 10 ha von 370 €/ha.

Bezogen auf die Betriebsgröße kommt PIEHL (2003) in einer Auswertung von 100 Marktfruchtbetrieben in Mecklenburg-Vorpommern zu interessanten Ergebnissen in der Frage nach möglichen Degressionseffekten bei zunehmender Betriebsgröße. Bei Betriebsgrößen von 200 bis 1.600 ha Ackerfläche kann er eine deutliche Degression der Arbeitserledigungskosten von 550 €/ha bei einem 200-Hektar-Betrieb auf 450 €/ha bei einem 400-Hektar-Betrieb nachweisen. Danach bewegen sich die Arbeitserledigungskosten bei zunehmender Betriebsgröße zwischen 470 und 500 €/ha um erst in der Betriebsgröße zwischen 1.200 und 1.500 Hektar wieder ein Optimum von 450 €/ha zu erzielen.

Um dem stetig wachsenden Kostendruck zu begegnen, versuchen die meisten Landwirte ihre Nutzfläche zu vergrößern. Dabei werden auch weitere Entfernungen in der Regel in Kauf genommen. JANINHOFF (2000c) weist bei seinen Untersuchungen darauf hin, dass die entfernten Flächen erhebliche Kosten verursachen können, auch wenn keine zusätzlichen Investitionen notwendig sind. Wichtige Kriterien sind zur Beurteilung die Entfernung zur

zusätzlich gepachteten Fläche, sowie deren Größe, und die Anzahl der notwendigen Arbeitsgänge im Laufe des Jahres. Zu bedenken ist, dass erstens deutliche Leerzeiten entstehen, die mit steigender Entfernung immer größer werden und nur bei großen Parzellen akzeptabel sind. Als Beispiel führt JANINHOFF an, dass eine 3-Hektar-Parzelle in 3 km Entfernung, bei 10 €/h variablen Traktorkosten und 18 €/h Lohnansatz, zusätzliche Kosten von 55 €/ha verursacht. Kosten in gleicher Höhe ermittelt JANINHOFF für 5 ha große Parzellen in 5 km Entfernung und 10-Hektar-Parzellen in 12 km Entfernung, sowie 15-Hektar-Parzellen in 30 km Entfernung.

Bei den großen Parzelleneinheiten entsteht zusätzlich das Problem, dass sie meist nicht in einer Anfahrt bewirtschaftet werden können oder Unterbrechungen durch Maschinendefekte oder Witterungsumschwung zusätzlich risikoabwägend zu berücksichtigen sind. Als Mindestgrößen veranschlagt JANINHOFF für Flächen in entsprechender Entfernung:

- 5 km Feld-Hof > 10 ha
- 12 km Feld-Hof > 20 ha
- 20 km Feld-Hof > 30 ha
- 30 km Feld-Hof > 50 ha

Die Wettbewerbsvorteile eines Betriebes mit arrondierter Flächenlage, gegenüber einem Betrieb mit durchschnittlich 5 km Feld-Hof-Entfernung und Parzellengrößen von 3 Hektar bezeichnet JANINHOFF als erheblich. Bei einem 100-Hektar-Mähdruschbetrieb entstehen nach seinen Berechnungen zusätzliche Kosten im Vergleich zum arrondierten Betrieb, von durchschnittlich 3.950 €/a. Zuzüglich sind die Nutzungskosten zu bedenken, die entstehen, weil die Maschinen und Arbeitskräfte während der Wegezeiten nicht produktiv arbeiten können.

## 2.2 Auswirkungen von Flächengrößen

Dass das Betriebsgrößenwachstum nur ein Teil einer Wachstumsstrategie ist, zeigt AUERNHAMMER (2001) auf. Er stellt heraus, dass mit der Größe des Schlages der Anteil der produktiven Hauptarbeitszeit an der Gesamtarbeitszeit durch Reduktion von Wege-, Wende- und Rüstzeiten wächst. Daraus folgt eine Senkung des Arbeitszeitbedarfs und der Maschineneinsatzzeiten pro Flächeneinheit. Auf der Basis von KTBL-Arbeitszeitbedarfswerten weist WAGNER (2001) nach, dass eine Verbreiterung von Schlägen nur einen unwesentlich positiven Effekt auf die Arbeitszeit hat, während die Verlängerung von Schlägen aufgrund der Reduktion von Wendezeiten große Einsparpotenziale aufweist. Wagner beschreibt auch eine Steigerung des Naturalertrages auf größeren Flächen durch eine reduzierte Randlänge, womit sich die Schlagrandverluste reduzieren. Diese beziffert Wagner in einem Streifen von ca. 3 m mit 15 % durch verstärkte Verunkrautung oder ungenaue Applikation von Dünger und Pflanzenschutzmitteln.

KOCH (2002) geht von einer Senkung der Produktionskosten bei einem 10-Hektar-Schlag gegenüber 0,5 Hektar von 2 €/dt Weizen aus und begründet dies mit den Einsatz größerer Maschinen, weniger Wege- und Rüstzeiten, niedrigere Maschinen- und Lohnkosten, geringeren Managementaufwand.

Das durch größere Schläge der Arbeitsaufwand bei Mähdruschfrüchten von 20 h/ha bei 1-Hektar-Schlägen auf 6 h/ha bei 20-Hektar-Schlägen sinkt, stellt JANINHOFF (2000a) in seiner Modellkalkulation zur Größe von Feldparzellen heraus. In der gleichen Untersuchung stellt er auch anhand einer rechteckigen und einer gleichgroßen dreieckigen Parzelle fest, dass in Dreiecken die Vorgewendefläche größer als in Rechtecken ist. Ebenso ist der relative Anteil von Vorgewendeflächen auf kleinen Parzellen größer als auf großen Parzellen. Generell unterstellt JANINHOFF auf dem Vorgewende, wie auch auf den Randstreifen, Ertragseinbußen von 30 Prozent.

Für Grünlandstandorte mit Milchproduktion weist JANINHOFF (2000b) auf eine deutlich höhere Nutzungsfrequenz gegenüber dem Ackerbau hin. Daraus folgt für ihn ein noch höherer Handlungsbedarf zur Parzellenvergrößerung als im Ackerbau. JANINHOFF berechnet mittels KTBL-Planungsunterlagen mit 15 AKh/ha einen um 50 % reduzierte Arbeitszeitaufwand auf 20-Hektar-Parzellen gegenüber 1-Hektar-Parzellen. Für eine 1-Hektar-Parzelle mit einem Ertrag von 45.000 MJNEL bezeichnet JANINHOFF die Arbeitserledigungskosten bei einem Lohnansatz von 18 €/h mit 1.058 €/ha, bzw. 2,35 ct/MJNEL. Unter gleichen Bedingungen reduzieren sich die Arbeitserledigungskosten auf einer 5-Hektar-Parzelle auf 695 €/ha bzw. auf 1,53 ct/MJNEL.

Die Erstellung einer guten Grassilagequalität für eine leistungsorientierte Milchproduktion erfordert eine schlagkräftige Mechanisierung um möglichst an einem Tag Schnitt, Anwelken und Einsilieren zu ermöglichen. Leistungsstarke Maschinen erzeugen wiederum hohe Arbeitserledigungskosten, die nur durch einen hohen Auslastungsgrad in Bezug auf die erzeugten MJNEL niedrig gehalten werden können. Dies wiederum setzt hohe Flächenleistungen voraus und damit die Vorteilhaftigkeit großer, leicht zu bearbeitender Schläge. GAYL (2001) verweist in seiner Arbeit zur Vollkostenrechnung im Futterbau in gut strukturierten Regionen der neuen Bundesländer auf den dennoch sehr hohen Anteil der Arbeitserledigungskosten von 58 % an den Gesamtkosten von 978 €/ha.

SEUFERT (2000) führt ebenfalls für Grünlandstandorte den Nachweis, dass durch Erhöhung der Schlaggröße von 0,5 auf 10 ha eine Reduktion des Arbeitszeitbedarfs in der Grassilageproduktion (Ladewagen) inkl. Transport und Einsilierung bei einer Feld-Hof-Entfernung von 0,5 km von 5,1 auf 2,9 AKh möglich ist. Auf der Basis unterschiedlicher Maschinenvariationen für die Grassilageproduktion weist SEUFERT in Regionen mit ungünstiger Flächenstruktur deutlich höhere Verfahrenskosten gegenüber gut strukturierten Flächen nach.

Am Beispiel der Gewannebewirtschaftung mit einer Schlagvergrößerung von 1,1 auf 6,8 Hektar zeigt ROTHMUND (2003) Einsparungen in den Arbeits erledigungskosten von 62 €/ha auf, was sich in einem Bereich von unter einem Euro pro Doppelzentner bewegt. Hinzu rechnet ROTHMUND mit weiteren Einsparungen bei Saatgut, Dünger und Pflanzenschutzmittel von 22 €/ha und zusätzlich mit einer Ertragssteigerung von 5 dt/ha. Insgesamt kann ROTHMUND einen gegenüber der Ausgangssituation von 1,1 Hektar höheren sogenannten Deckungsbeitrag II von 148 €/ha durch die o.g. Schlagvergrößerung beziffern.

STEIN (2003) weist darauf hin, dass durch Flächenzusammenlegung Einsparungseffekte für den Einzelbetrieb unter Beibehaltung vorhandener Technik ausgeschöpft werden können. Darüber hinausgehende Rationalisierungseffekte liegen in der Anpassung der Mechanisierung an neue Strukturen durch Nutzung des überbetrieblichen Maschineneinsatzes zur Auslastung größerer Verfahreseinheiten. STEIN (S. 118) folgert daraus, "... dass unabhängig von der Mechanisierungsstufe große Flächen kostengünstiger zu bewirtschaften sind als kleinere" und erkennt für die Arbeits erledigungskosten deutliche Degressionen bei Schlaggrößen bis 10 Hektar.

Auswertungen von DIETZEL (2000) für das Land Sachsen-Anhalt zeigen eine durchschnittliche Schlaggröße von 40,8 Hektar. Entsprechende Schlagdatenanalysen in Mecklenburg-Vorpommern ergaben in Betrieben zwischen 500 und 1.000 Hektar eine durchschnittliche Schlaggröße von 20 bis 30 Hektar und in Betrieben von 1.000 bis 2.000 Hektar solche von 35 bis 45 Hektar (MEISSER, 1996). Analysen von DASKE (1981) im ehemaligen Institut für Sozialistische Betriebswirtschaft Böhlitz-Ehrenberg ergaben für das Gebiet der DDR mit einer großen Streubreite eine durchschnittliche Schlaggröße von 49 Hektar. Zur gleichen Zeit stellte FINDEIS (1982) fest, dass der Anteil des Ackerlandes in der DDR auf Schlägen über 100 Hektar mit 29 % aus

betriebswirtschaftlicher und technologischer Sicht als ungerechtfertigt angesehen werden muss.

Auch DEGNER (1999) kommt in seiner Analyse von Schlaggröße und Verfahrenskosten auf dem Gebiet der neuen Bundesländer zu deutlichen Kostendegressionen in allen Verfahren des Einsatzes von Großtechnik bis ca. 40 Hektar Schlaggröße. Er vertritt die Auffassung, dass der Bestand von größeren Schläge im Bereich von 40 bis 60 Hektar zur Gestaltung eines optimalen Arbeitsablaufes gesichert bleiben sollte.

Die Auswirkung von Schlaggrößen auf das Ernteverfahren von Stroh mit Quaderballenpressen untersuchte HERMANN (1995). Grundlage seines mathematischen Modells war eine rechteckige Fläche mit dem Längen-Breiten-Verhältnis 1 : 2. Er kommt zu dem Ergebnis, dass bei Vergrößerung der Schläge über 25 Hektar keine Steigerung der operativen Leistung mehr erfolgt.

DIETZEL (2000) gibt für eine Pflanzenschutzspritze mit einer Arbeitsbreite von 33 m bei einem Verhältnis von Schlagbreite zu Schlaglänge von 1 : 2 auf einer 10 Hektar großen Fläche eine relative Wendezeit von 30 % an, die sich bei 50 ha auf 14 % reduziert. Für den Großmaschineneinsatz beschreibt DIETZEL:

- Schläge über 50 ha bringen keine nennenswerten Einsparungen an Hilfszeiten;
- Schlaglängen über 800 m sind wegen der Ver- und Entsorgung von Ernte- und Ausbringmaschinen als kritisch zu beurteilen;
- Als Schlagform ist beim größeren Schlag um 50 ha eher das Quadrat, beim kleineren das gestreckte Rechteck zu empfehlen,
- Eine optimale Schlaggröße gibt es aus technologischer Sicht nicht, es ist nur eine Annäherung an praktikable Bereiche möglich.

Auch MÜLLER (1989) kommt für den Ackerbau in der DDR zu dem Ergebnis, dass Schlaglängen über 800 m keine technologischen Vorteilen bringen, sondern vielmehr zu Nachteilen führen können durch Vergrößerung der Transportwege und -massen auf dem Acker und der damit erhöhten Gefahr der Bodenverdichtung.

### 2.3 Auswirkungen unterschiedlicher Flächenformen

In Untersuchungen zum Arbeitszeitbedarf auf Rechtecken und rechtwinkligen Dreiecken kommt MÖSER (1996) zu den Feststellungen:

- Je größer der Schlag, umso geringer wird der Einfluss der Schlagform
- Der Arbeitszeitbedarf auf einem extrem schmalen und lang gestreckten dreieckigen Schlag ist kaum höher, als auf einem Rechteck mit gleichem Breiten-/Längenverhältnis.
- Je schmaler die Arbeitsbreite des eingesetzten Gerätes ist, desto höher fällt die Zeitdegression bei zunehmender Parzellengröße aus.

Möser greift bei seinen Berechnungen zurück auf die von KREHER und HESSELBACH (1964) entwickelte Methode zur Bestimmung des theoretischen Arbeitszeitbedarfs. Diese Methode wurde von GRINDELE (1972) für die Feldwirtschaft mit der Einführung von Korrekturfaktoren und die Berechnung von Betriebsmodellen diskutiert und letztlich vom KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) übernommen, um auf der Basis von Teilzeiten Arbeitsbedarf und Maschinenkosten unter der Annahme von Flächengrößen und Hof-Feld-Entfernung zu bestimmen. In seinem Modell reduziert MÖSER (1996) das gesamtbetriebliche KTBL-Modell um den einzelnen Schlag in den Mittelpunkt seiner Betrachtungen zu rücken.

In seiner Entwicklung eines Mengenplaners arbeitet WETTICH (1993) mit der Software QUANSET um den ackerbaulichen Produktionsprozess abzubilden. Die Wendevorgänge teilt er in 90°- und 180°-Wendungen ein um als Faustformel der 90°-Wendung zweidrittel der Zeit einer 180°-Wendung zu

zuordnen. Allerdings beschränkt sich WETTICH „aus Gründen der Vereinfachung“ (S. 169) auf die Betrachtung von rechteckigen Schlägen.

## 2.4 Erkenntnisstand

Die Auswertung einschlägiger Literatur verdeutlicht den hohen Anteil der Arbeitserledigungskosten an den Gesamtkosten der Produktion im Marktfruchtbau und noch mehr im Futterbau auf Grünlandstandorten. Deutlich sind auch die agrarstrukturellen Unterschiede in Deutschland durch verschiedenen Untersuchungen durchschnittlicher Arbeitserledigungskosten in Ackerbaubetrieben von 805 €/ha in Bayern über 524 €/ha in Schleswig-Holstein bis 399 €/ha in den neuen Bundesländern gekennzeichnet.

Neben der Betriebsgröße beschreiben verschiedene Autoren den Einfluss der Flächengröße (Schlag, Parzelle) auf die Reduzierung der Arbeitserledigungskosten. Während für die alten Bundesländer Degressionseffekte bis maximal 20 Hektar dargestellt werden, weisen Untersuchungen aus der ehemaligen DDR und den neuen Bundesländern tendenziell auf mögliche optimale Schlaggrößen von 40 bis 60 Hektar hin.

Während bei den Untersuchungen zur optimalen Flächengröße i.d.R. rechteckige Schläge mit einem Seitenverhältnis zwischen 1 : 2 und 1 : 4 unterstellt wurden, gab es auch Ansätze zur Betrachtung des Einflusses der Flächenform. Bisher war allerdings die Beschreibung von Wendevorgängen auf Schlägen mit unterschiedlichen geometrischen Formen bei unterschiedlichen Arbeitsbreiten von Maschinen nicht festzustellen. Ebenso, dass in einer geometrischen Form mehrere unterschiedliche Wendevorgänge, auch in Abhängigkeit von dem auszuführenden Arbeitsvorgang, möglich sind.

### **3 Material und Methode**

#### **3.1 Material**

##### **3.1.1 Versuchsstandort**

Für die notwendigen Fahrversuche zur Durchführung der methodisch notwendigen Arbeitszeitstudie wird auf das Angebot der Überbetrieblichen Maschinenverwendung (ÜMV) zurückgegriffen.

Die Durchführung der Fahrversuche erfolgte auf einem Flurstück in der Gemarkung Friedberg-Bruchenbrücken (Wetterau):

Flur	6
Flurstück	9
Höhe über NN	158 m
Bodenart	sL mit Lößauflage
Flächengröße	1,8621 ha

Auf dem abgeernteten Weizenschlag wurden die Winkel der ausgewählten Flächenformen mit unterschiedlich breiten Vorgewenden ausgemessen und abgesteckt.

Die statistische Aufbereitung der Messwerte, wie auch die Bildung des Arbeitsmodells erfolgte mit der Software MICROSOFT-EXCEL.

##### **3.1.2 Auswahl der Verfahrenstechnik**

Zur Auswahl typischer Mechanisierungsvariationen nach dem Stand der Technik dient das Prinzip der Nutzungskosten und der Minimalkostenkombination (KUHLMANN, 1978; SEUFERT, 1995). In den ersten beiden

Schritten wird die Entscheidung für typische Mechanisierungsvariationen heutiger Ackerbaubetriebe vorbereitet:

1. Erfassung von Grobinformationen und technischen Daten möglicher und in der Ackerbaupraxis anzutreffender Maschinen- und Gerätetechnik.
2. Ermittlung der nach „guter fachlicher Praxis“ zulässigen Verfahren.

Zur Ermittlung von Zeit und Kosten der Arbeitserledigung bei unterschiedlichen Flächengrößen und Flächenformen soll im Modell ausschließlich die Grundzeit für

- Bodenbearbeitung
- Bestellung
- und Bestandsführung

am Beispiel des Produktionsverfahrens Getreidebau dargestellt werden. Für Ernte und Transport wird eine überbetriebliche Maschinenverwendung zu nicht variierenden Kosten pro Hektar unterstellt. In der Grundzeit sind nicht enthalten das Nachladen von Ausbringmengen, das An- und Umhängen, Störungen sowie Rüst- und Wegezeiten.

Aus der unüberschaubaren Vielfalt des landtechnischen Angebots – wie sie z.B. regelmäßig auf der AGRITECHNICA in Hannover präsentiert wird – gilt es möglichst repräsentative Mechanisierungsverfahren für den Ackerbaubetrieb auszuwählen. In Bezug auf den Untersuchungsgegenstand ist für diese Auswahl von überragender Bedeutung:

- die Arbeitsbreite der einzusetzenden Geräte;
- die Zugkraftklasse der Traktoren.

Diese beiden Gespannmerkmale überlagern bei der Betrachtung von Flächengrößen und Flächenformen die weiteren Merkmale von Maschinen und Geräten, wie z.B. die Ausbildung von Scharformen oder Spritzdüsen.

Um den Einfluss unterschiedlicher Mechanisierungsverfahren bei differenzierter Flächengröße und Flächenform zu untersuchen, werden im Blick auf die Praxisgegebenheiten drei Gruppen der Mechanisierung für sinnvoll angesehen:

- |          |   |
|----------|---|
| Gruppe A | Primärbodenbearbeitung mit Pflug. Sekundärbodenbearbeitung und Aussaat mit 3 m Arbeitsbreite. Alle Geräte angebaut. Zugehöriger Traktor mit 66 kW.      |
| Gruppe B | Primärbodenbearbeitung mit Pflug. Sekundärbodenbearbeitung und Aussaat mit 6 m Arbeitsbreite. Alle Geräte aufgesattelt. Zugehöriger Traktor mit 175 kW. |
| Gruppe C | Direktsaat. Alle Geräte aufgesattelt. Zugehöriger Traktor mit 175 kW.   |

Mit Hilfe dieser Gruppierung kann eine Betrachtung von Gespannen mit unterschiedlicher Arbeitsbreite und Zugkraft wie auch von zwei Extremen der Pflanzenbautechnik (Pflug und Direktsaat) erfolgen.

Um nun tatsächlich Arbeitszeiten auf Flächen zu erfassen und Arbeits erledigungskosten zu berechnen, ist eine differenzierte Ausgestaltung der gebildeten Mechanisierungsgruppen erforderlich. In Abstimmung zu der Arbeitsbreite der Sekundärbodenbearbeitung bzw. der Sätechnik wird die Arbeitsbreite des Pfluges und der Applikationstechnik für Pflanzenschutzmittel und Mineraldünger festgelegt. Zudem wird gemäß der guten fachlichen Praxis die Vorfahrtgeschwindigkeit der jeweiligen Gespanne festgelegt.

Tabelle 3-1 zeigt die entsprechenden Werte für die Mechanisierungsvariation der Gruppe A. Passend zur 3 m Sekundärbodenbearbeitung wird ein Pflug mit einer Arbeitsbreite von 1,50 m eingesetzt. Pflanzenschutzspritze und Mineraldüngerstreuer sollen zur Nutzung der Fahrgassen gleiche Arbeits-

breiten haben und in Abstimmung zum Vorgewende ein Vielfaches der Arbeitsbreite der Sekundärbodenbearbeitung aufweisen. Mit 15 m Arbeitsbreite wird eine praxisübliche Applikationstechnik ausgewählt. Um gemäß der guten fachlichen Praxis eine exakte Verteilung von Mineraldünger zu gewährleisten wird ein pneumatisches Gerät vorgesehen.

Tabelle 3-1: Mechanisierungsvariation der Gruppe A

Mechanisierungsvariation A			
Traktor 66 kW			
Gerätebeschreibung		Arbeitsbreite m	Vorfahrt km/h
Stoppelgrubber	angebaut	3,00	15,00
3-Schar Pflug	angebaut	1,50	6,00
Kreiselegge-Sämaschinenkombination	angebaut	3,00	6,00
Pflanzenschutz-Spritze	angebaut	15,00	6,00
Mineraldünger-Streuer (pneumatisch)	angebaut	15,00	6,00

Die Geräteauswahl mit der zugehörigen Arbeitsbreite und Vorfahrt erfolgt für die Maschinenvariation der Gruppe B gemäß den gleichen Kriterien (Tab. 3-2). Auf Grund der größeren Arbeitsbreite werden die Maschinen nicht mehr wie in der Mechanisierungsvariation A angebaut, sondern aufgesattelt.

Tabelle 3-2: Mechanisierungsvariation der Gruppe B

Mechanisierungsvariation B			
Traktor 175 kW			
Gerätebeschreibung		Arbeitsbreite m	Vorfahrt km/h
Stoppelgrubber	aufgesattelt	6,00	15,00
6-Schar Pflug	aufgesattelt	1,50	6,00
Kreiselegge-Sämaschinenkombination	aufgesattelt	6,00	6,00
Pflanzenschutz-Spritze	aufgesattelt	36,00	6,00
Mineraldünger-Streuer (pneumatisch)	aufgesattelt	36,00	6,00

Für die Mechanisierungsvariation der Gruppe C wird der Pflug und die Kreiselegge-Sämaschinenkombination durch eine Direktsaatmaschine ausgetauscht (Tabelle 3-3).

Tabelle 3-3: Mechanisierungsvariation der Gruppe C

Mechanisierungsvariation C			
Traktor 175 kW			
Gerätebeschreibung		Arbeitsbreite m	Vorfahrt km/h
Stoppelgrubber	aufgesattelt	6,00	15,00
Direktsaatmaschine	aufgesattelt	6,00	6,00
Pflanzenschutz-Spritze	aufgesattelt	36,00	6,00
Mineraldünger-Streuer (pneumatisch)	aufgesattelt	36,00	6,00

## 3.2 Methode

Zur Analyse des Arbeitszeitaufwandes und der daraus resultierenden Kosten für Arbeit und Mechanisierung bei unterschiedlichen Flächengrößen und Flächenformen wird ein rechnergestütztes Arbeitsmodell gebildet in das sowohl theoretische wie auch im Versuch gemessene Werte einfließen sollen. Das Arbeitsmodell soll unterschiedliche Variable in Bezug auf Flächenform und Flächengröße und der zugehörigen Mechanisierung berücksichtigen.

### 3.2.1 Flächengeometrie

Auf Grund der Formenvielfalt von Schlägen ist zur Analyse der Arbeits erledigung auf Ackerflächen verschiedener Formen und Größen eine Auswahl idealtypischer Formen erforderlich, die in unterschiedlichen Schlaggrößen betrachtet werden sollen. Die begründete Auswahl dieser Flächenformen erfolgt in Kapitel 4 in Anlehnung an in der Praxis anzutreffende Schläge und in Variation nach praxisrelevanten Schlaggrößen.

### 3.2.2 Kausale Zeitermittlung

Die Frage nach der Ursache des unterschiedlichen Zeitverbrauchs zur Bearbeitung verschiedener Flächenformen setzt die Kenntnis über die Einflussgrößen voraus. Kausale Zeitermittlungsmethoden müssen daher alle Einflussgrößen vollständig erfassen. Dabei gibt die Zahl der Einflussgrößen den Grad der Aufgliederung vor.

Die Betrachtung von funktionellen Zusammenhängen beruht auf Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung. Beide geben den erforderlichen Messwertumfang in Abhängigkeit der Einflussgrößen vor. Analytisch kann eine derartige Abhängigkeit mit einer aussagefähigen Bestimmung nur dann durchgeführt werden, wenn die gesamte Streubreite der Einflussfaktoren bekannt ist, was bedeutet, dass zur Erfassung aller möglichen Einflüsse – unter der Voraussetzung linearer Abhängigkeit – mindestens  $2^n$  Messwerte vorliegen müssen ( $n$  = Anzahl der Einflussgrößen).

Für das zu erstellende Arbeitsmodell und die durchzuführenden Fahrversuche gibt diese Erkenntnis einen wertvollen Hinweis auf die notwendige Begrenzung von Arbeitsabschnitten mit dem Ziel mögliche Einflussgrößen je Arbeitsabschnitt zu minimieren.

Nach AUERNHAMMER (1986) sollte als Faustregel angesetzt werden, dass ein Arbeitsabschnitt beginnt oder endet, wenn sich die auf ihn einwirkenden Einflussgrößen ändern. Dieser Punkt wird dann als Zeitmesspunkt bezeichnet.

### 3.2.2.1 Zeitelementmethode

Eine Methode der kausalen Zeitermittlung ist die Zeitelementmethode (AUERNHAMMER, 1986). Zeitelemente sind:

- in bestimmten Grenzen in der Zeitmenge gleich;
- unabhängig gegenüber dem vorausgehenden oder dem nachfolgenden Element;
- als Baustein für Planungen frei kombinierbar.

Zeitelemente sind geeignet als Basis zur Ableitung von Planzeiten soweit bereits bei der Zeiterfassung folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Zeitelemente mit gleichem Inhalt müssen gleiche Einflussgrößen aufweisen;
- Zeitmesspunkte der Zeitelemente müssen identisch sein;
- Die zugrundeliegende Arbeitsmethode muss die gleiche sein und darf in der Arbeitsweise nur minimal voneinander abweichen;
- Wiederholungen müssen einen repräsentativen Querschnitt wiedergeben;
- Als Planungswerte müssen Zeitelemente gängige und zukunfts-trächtige Techniken berücksichtigen.

Die Ist-Zeit-Erfassung erfolgt in einer Arbeitsstudie. Diese Messung wird i.d.R. in der Praxis in Form einer Beobachtung als Einzelmessung oder als eine vorgegebene Zahl an Wiederholungsmessungen durchgeführt. Die wesentlichen Schritte der Arbeitszeitstudie sind:

#### **1. Auswahl eines geeigneten Betriebes / einer geeigneten Fläche**

Die Verhältnisse sind vor der Durchführung der Zeitstudie zu analysieren. Ein Gesamteindruck über Arbeitspersonen und Arbeitsablauf und Flächen soll mögliche Abweichungen vom Durchschnitt aufzeigen. Zufälligkeiten sollen in der Planung ausgeschlossen werden.

## **2. Beschreibung der Arbeitsbedingungen**

Durch die Beschreibung der Arbeitsbedingung wird gewährleistet, dass der Ablauf reproduzierbar bleibt. Festgehalten werden die qualitativen Einflüsse.

## **3. Beschreibung des Arbeitsplatzes und des Arbeitsablaufes**

Die räumlichen und örtlichen Gegebenheiten sind ebenso wie der Arbeitsablauf zu beschreiben:

- Die Zeitmesspunkte sind die wichtigste Hilfsgröße der Arbeitszeitstudie;
- Der Arbeitsablauf muss sich in einer geschlossenen Folge von Bewegungen abgrenzen;
- Die zeitliche Länge eines Elements muss messbar sein, d.h. auch so groß, dass der unvermeidliche Messfehler relativ klein bleibt.

## **4. Durchführung der Zeitmessung**

Für jede Arbeitsperson sollte mindestens ein Zeitnehmer zu Verfügung stehen. Die Zeitaufnahme erfolgt i.d.R. in 1/100 Sekunden

## **5. Auswertung der Arbeitszeitstudie**

Zur Auswertung der Arbeitszeitstudie werden die Ergebnisse der Zeitmessung gegliedert nach den beschriebenen Arbeitselementen dargestellt.

### **3.2.2.2 Erstellen von Planzeiten**

Planzeitmodelle beschreiben den Ablauf und die Einflussgrößen einer Arbeitsaufgabe. Ihr Aufbau lehnt sich an den Arbeitsablauf in der Praxis an und ist entweder deterministisch oder stochastisch (AUERNHAMMER, 1986). Da es sich bei dem zu bildenden Arbeitsmodell um einen vorgegebenen Arbeitsablauf handelt, fällt die Auswahl auf ein sogenanntes deter-

ministisches Planzeitmodell. Planzeiten sind Daten des Zeitverbrauchs einzelner Arbeitsabschnitte bzw. der Gesamtarbeit. Zur Bildung von Planzeitmodellen wird ein standardisiertes Arbeitsablaufmodell mit repräsentativen Planzeitelementen versehen. Die Planzeiten beziehen sich auf die Normalleistung einer Arbeitskraft und werden in der Dimension Arbeitskraftstunde (AKh), Arbeitskraftminute (AKmin) und Arbeitskraftsekunde (AKs) angegeben (AUERNHAMMER, 1986).

Zum Erstellen des Arbeitsmodells ist daher folgendes Vorgehen erforderlich:

1. Erstellen und statistische Absicherung von Planzeitelementen;
2. Bildung praxisnaher Arbeitsabläufe;
3. Verknüpfung von Arbeitsablaufmodellen und Planzeitelementen zu Arbeitsmodellen.

### **3.2.3 Kosten-Leistungs-Rechnung**

Die Aufgaben der Kosten-Leistungs-Rechnung bestehen in der Planung, Kontrolle und Dokumentation (HABERSTOCK, 1997). Hierzu werden Teilbereiche des Unternehmens mit einer Teilbereichsrechnung detailliert analysiert. Die Besonderheit der Kosten-Leistungs-Rechnung liegt in der Ermittlung einer objektiven Wirtschaftlichkeit durch Berechnung von Nutzungskosten für den Faktoreinsatz unabhängig von der Herkunft. So ist es unerheblich, ob das Kapital Eigen- oder Fremdfinanziert ist oder Arbeit durch Lohnarbeitskräfte bzw. sogenannte „nichtentlohnte“ Mitglieder der Unternehmerfamilie geleistet wird. Eine Festlegung der Abrechnungsperiode für eine vollständige und verursachungsgerechte Zuordnung der Kosten zu den Leistungen wird durch die Kosten-Leistungs-Rechnung ermöglicht (KUHLMANN, 1978).

### **3.2.3.1 Kostenrechnungssysteme**

Kosten sind ein entscheidendes Kriterium für Verfahrensbewertungen. Nach OLFERT (1999) sind sie allgemein der wertmäßige Verzehr von Produktionsfaktoren zur Erstellung und Verwertung betrieblicher Leistungen und zur Sicherung der dafür notwendigen Kapazitäten. Kosten sind der monetär bewertete Verbrauch von Gütern und Diensten zur Herstellung und zum Absatz von betrieblichen Leistungen sowie zur Aufrechterhaltung der dafür erforderlichen Kapazitäten (HUMMEL, 1990).

Für die Bewertung von Verfahren ist es wichtig, dass die Kosten als spezifische Kosten ausgewiesen werden. Sie sollten immer auf das realisierte Produkt (Masse, Volumen, Anzahl) bezogen werden, da sich der Wert von Arbeitskräften und Arbeitsmitteln letztlich in den Produkten niederschlägt (HERRMANN, 1999).

### **3.2.3.2 Kostenrechnungssysteme nach Umfang und Art der Verrechnung**

Die Vollkostenrechnung rechnet mit vollen Kosten, d.h., dass sämtliche Kostenarten auf die Kostenträger verrechnet werden. Für Einzelkosten geschieht dies direkt, für Gemeinkosten (unter Berücksichtigung der innerbetrieblichen Leistungsverflechtung) über die Kostenstellen (JossÉ, 2001). In Mehrproduktbetrieben widerspricht sie bezüglich der Gemeinkosten dem Verursachungsprinzip. Das Grundproblem bleibt die letztlich immer willkürliche Verteilung der Gemeinkosten, weshalb eine zusätzliche Teilkostenrechnung Sinn macht.

Die Teilkostenrechnung ist jedes Kostenrechnungssystem, das (im Gegensatz zur Vollkostenrechnung) einem Kalkulationsobjekt nur bestimmte Teile der gesamten Kosten zurechnet (JossÉ, 2001). Damit kann dem Verur-

sachungsprinzip entsprechend Rechnung getragen werden, da die Kostenträger nur mit den Kosten belastet werden, die durch sie verursacht werden.

### **3.2.3.3 Auswahl eines Kostenrechnungssystems**

In der vorliegenden Arbeit werden die Kosten verschiedener Variationen der Mechanisierung für den Bereich Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung, Aussaat und Bestandsführung auf unterschiedlichen Flächenformen und Flächengrößen ermittelt. Somit kommt als Kostenrechnungssystem nach Sachumfang und Art der Verrechnung nur die Teilkostenrechnung zur Beurteilung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit unterschiedlicher Flächengrößen und Flächenformen in Frage.

Auf Basis der Kosten-Leistungs-Rechnung wurde die Betriebszweigabrechnung weiter entwickelt (DLG, 2004). Ein wesentlicher Baustein der Betriebszweigabrechnung sind die Arbeitserledigungskosten, die sowohl die Kosten für Arbeit als auch der Mechanisierung berücksichtigen.

#### **Arbeitskosten**

Die Kosten für die Arbeitskraft in landwirtschaftlichen Familienbetrieben die nicht einer vertraglichen Lohnzahlung unterliegt, sind der Quotient aus dem Lohnansatz und der verfahrenstechnischen Leistung in der Gesamtarbeitszeit. Der Lohnansatz beinhaltet die Lohnkosten und die Lohnnebenkosten. Für die anfallenden Arbeiten in einer zu bildenden Kostenmatrix wird der Lohnansatz auf 18 € pro Arbeitskraftstunde [AKh] festgelegt.

#### **Maschinenkosten**

Da die einzelbetriebliche Maschinenauslastung sich erheblichen nach Art und Umfang unterscheidet und daraus deutliche Kostenunterschiede in der Flächenbewirtschaftung folgen, wird für die Bewertung der Maschinenkosten auf einheitliche Verrechnungssätze für die überbetriebliche Maschinenarbeit

zurück gegriffen (LAK, 2002/03; KTBL, 2002/03). Die einheitlichen Verrechnungssätze erlauben einen systematischen Vergleich der Maschinenkosten ohne Berücksichtigung einer einzelbetrieblichen Maschinenauslastung.

### **Treibstoffkosten**

Der arbeitsspezifische Treibstoffverbrauch der eingesetzten Traktoren wird ebenfalls den VERRECHNUNGSSÄTZEN FÜR ÜBERBETRIEBLICHEN MASCHINENARBEIT (LAK, 2002/03) entnommen und unter Berücksichtigung von 0,75 €/l den einzelnen Arbeitsgängen gesondert zugerechnet.

#### **4 Formenvielfalt und Flächenkonfiguration**

Die deutschen Feldfluren scheinen auf den ersten Blick eher symmetrisch und zum Großteil rechtwinklig geschnitten. Idealtypisch handelt es sich also um rechteckige Schläge, die nebeneinander aufgereiht liegen und wenigstens am oberen und unteren Ende von einem Weg begrenzt werden.

Ein Blick auf eine entsprechende Katasterkarte belegt aber, dass das Bild, welches beim Bewegen in der Landschaft entsteht, tatsächlich nicht ganz so ideal ist. Sicherlich wurde bei allen Aufteilungen, Flurbereinigungen oder ähnlichen Verfahren versucht, idealtypische Strukturen wie oben erwähnt zu schaffen, doch die natürlichen Gegebenheiten ließen dies nicht immer zu. Oft begrenzten Wälder, Flüsse, Gräben, Wege oder Straßen die Felder, wodurch kein rechtwinkliger Schnitt der Flächen möglich war.

Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht wurde schon früher versucht gerade Strukturen zu schaffen, um die Felder parallel, d.h. Spur an Spur, bewirtschaften zu können. Somit entstanden in den kleinstrukturierten Realteilungsgebieten kleine Flächen, die eben die erwähnten parallelen Seiten besitzen und oben und unten durch einen Weg begrenzt wurden. Doch nicht immer gelang es auf Grund der natürlichen Umstände, dass der Weg die Flächen auch im rechten Winkel begrenzt. Da in den Fluren nicht nur Querwege am oberen und unteren Ende der Flächen angelegt wurden, sondern auch Längswege als Verbindung der Querwege nötig waren, entstanden größere geometrische Figuren, die heute von den Wegen umgeben sind. Die Flächen am Rand dieser Figuren besitzen dann oft keine parallelen Seiten mehr, sondern sind als Reststück so geschnitten, wie es die Gegebenheiten zulassen.

Somit entstanden Dreiecke, Parallelogramme, Trapeze und Mischungen aus diesen geometrischen Formen als Flächenformen.

Abbildung 4-1 verdeutlicht diese heutigen Gegebenheiten. Es handelt sich um einen Katasterkartenauszug einer im Wetteraukreis gelegenen Gemarkung. Man kann die parallel angelegten Flächen erkennen, die durch das Wegenetz begrenzt werden.

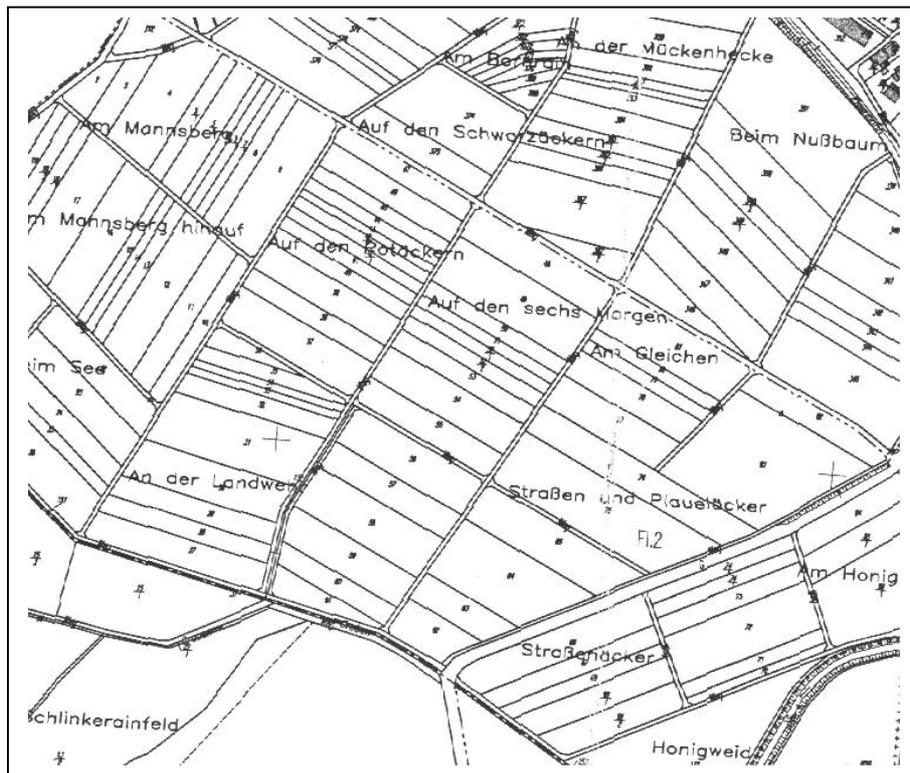


Abbildung 4-1: Auszug aus einer Katasterkarte (Wetteraukreis)

Solche Strukturen sind typisch für Realteilungsgebiete wie den Wetteraukreis, in dem auch die Fahrversuche durchgeführt wurden.

In Anerbengebieten hingegen sind größere Strukturen zu finden. Auffallend ist in diesen Gebieten, dass primär Wege als Begrenzungen von Feldern auftreten. Die Schläge sind gewöhnlich komplett durch Wege, Gräben oder ähnliche naturräumliche Gegebenheiten umfasst. Eine Unterteilung in viele kleinere Einheiten verschiedener Bewirtschafter zwischen den Wegen entfällt.

#### 4.1 Flächenformen

Die im oberen Abschnitt erläuterten Gegebenheiten bedingen die geometrischen Formen der Nutzflächen wie sie in den deutschen Ackerbaugebieten im Wesentlichen zu finden sind. Auch wenn die äußere Flächenform komplex erscheint, lässt sie sich in der Regel in einfache geometrische Basisfiguren zerlegen. Meistens genügen die geometrischen Grundformen um selbst einen stark verwinkelten Acker zu beschreiben. So kann nahezu jede in ihrer Gesamtheit scheinbar komplizierte Flächenform, durch die Zerlegung in ein oder mehrere Rechtecke und für die verbleibenden (Rest-)Abschnitte in ein oder mehrere Dreiecke, beschrieben werden.

In der Ackerbau wird dieses Vorgehen täglich praktiziert. Bei solchen komplizierteren Flächeformen wird an einer möglichst geraden Seite begonnen, um die Fläche parallel, Spur an Spur zu bearbeiten. Dann wird lediglich nicht mehr an einer im rechten Winkel zur Bearbeitungsrichtung liegenden Seite gewendet. Entlang dieser Seite wird dann ein Vorgewende angelegt. So kann es auch entstehen, dass ein Acker mehr als zwei Vorgewende hat. Letztlich wird bei der Bewirtschaftung nur unterschieden, ob an einer im rechten Winkel zur Bearbeitungsrichtung liegenden Seite gewendet wird oder nicht.

Sicherlich sind in der Praxis unendlich viele Beispiele zu finden, wo Sonderformen oder Mischungen verschiedener geometrischer Figuren vorkommen und die reale Flächenform ausmachen. Da sich all diese Sonder- und Mischformen auf die geometrischen Grundformen zurückführen lassen und damit diese Grundformen als Basis für die Beschreibung einer jeden anderen Form genutzt werden können, werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit die nachfolgend beschriebenen geometrischen Grundformen betrachtet.

Zudem wird somit die Anzahl der Analyseobjekte auf ein überschaubares Maß beschränkt und eine sinnvolle, praxisrelevante Grundlage für das Arbeitsmodell erreicht. Auf Basis dieses Vorgehens kann im Sinne der Zielsetzung der Arbeit der Einflussfaktor der Flächenform u.a. auf die Wendezeiten und die weiteren Aspekte der Arbeitserledigung klar strukturiert herausgearbeitet werden.

Als geometrische Grundformen, die in dieser Arbeit analysiert werden sollen, wurden gewählt:

- Rechteck
- Quadrat
- Gleichschenkliges Dreieck
- Spitzwinkliges Dreieck

Die Auswahl dieser Formen begründet sich durch die bereits oben beschriebene Funktion als Basisfiguren für die Beschreibung von in der Praxis vorkommenden komplexeren Misch- und Sonderformen. Es wäre eventuell sogar möglich, die Anzahl der zu betrachtenden Basisformen noch weiter zu reduzieren, sprich auf die Analyse des Rechtecks und einem Dreieck, aber aus praktischer Sicht macht die differenzierte Betrachtung des Dreiecks im Sinne des gleichschenkligen und des spitzwinkligen Dreiecks durchaus Sinn.

#### **4.1.1 Das Quadrat**

Das Quadrat ist an sich eine spezielle Form eines Rechtecks mit gleichen Kantenlängen, doch wird in dieser Arbeit deutlich, dass die Auswirkungen des Verhältnisses von Länge zu Breite wesentlich für die Bewirtschaftung sind.

#### 4.1.2 Das Rechteck

Für das Arbeitsmodell ist es wichtig, dass die Parameter klar definiert sind und in allen Variationen konstant gehalten werden, um aussagekräftige Werte zu erhalten. Da es im Rechteck unendlich viele Variationen der Seitenlängen zu einander gibt, musste ein eindeutiges Verhältnis gewählt werden. In diesem Modell stehen die Seiten im Rechteck stets im Verhältnis 1:2, ebenso verhält es sich mit den Katheten des spitzwinkligen Dreiecks und der Hypotenuse mit der Höhe im gleichschenkligen Dreieck. Für die im Modell unterstellte Bewirtschaftung wird immer in Richtung der längeren Rechteckseite bewirtschaftet, wie es auch in der Praxis erfolgen würde. Die Vorgewende liegen dementsprechend an den beiden kurzen Seiten des Rechtecks.

#### 4.1.3 Das gleichschenklige Dreieck

Im gleichschenkligen Dreieck sind die Verhältnisse per Definition bereits eindeutig, denn damit es sich um ein gleichschenkliges Dreieck handelt, müssen die Katheten im rechten Winkel zu einander stehen und die gleiche Länge aufweisen. Eine Differenzierung zum spitzwinkligen Dreieck ist notwendig, da eine Bewirtschaftung mit immer kleiner werdendem Winkel zunehmend erschwert wird.

Die Bewirtschaftung dieses Dreiecks wird parallel zur Hypotenuse erfolgen, denn dies ist die längste Seite. In einer realen Bewirtschaftung würde man ebenso verfahren, denn je länger die mögliche Bewirtschaftungsrichtung ist, umso schneller lässt sich eine Fläche bedienen. Zusätzlich kann dadurch der Vorteil genutzt werden, dass die Vorgewende entlang der kürzeren Katheten-seiten liegen und damit möglichst klein gehalten werden können.

Würde die Bewirtschaftungsrichtung entlang der kurzen Katheten erfolgen, hätte man zwar den Vorteil an einer Seite im rechten Winkel auf das Vorgewende zu treffen, doch dies würde durch eine kürzere Bewirtschaftungsstrecke „erkauff“ und das Vorgewende läge an der längeren Kathetenseite, woraus eine größere Vorgewendefläche als nötig resultiert. Bedenkt man aber all die negativen Wirkungen eines Vorgewendes hinsichtlich Minderertrag, Pflanzenschutz Mehraufwand, etc., sollte die genannte Bewirtschaftungsrichtung eingehalten werden.

#### 4.1.4 Das spitzwinklige Dreieck

Spitze Winkel und Ecken tauchen in der Praxis leider immer noch sehr häufig auf. Aus diesem Grunde und um den Unterschied zu einem stumpferen Winkel deutlich herausarbeiten zu können, soll das spitzwinklige Dreieck und seine Bewirtschaftung ebenfalls in die Untersuchung aufgenommen werden.

Wie bei der Beschreibung des Rechtecks bereits genannt, stehen in diesem Dreieck die Katheten im Verhältnis 1:2, diese Definition ist wie beim Rechteck wichtig, um bei der Variation der Flächengröße stets das gleiche Verhältnis der Katheten und somit von Breite zu Länge zu wahren. Zusätzlich wird durch diese Definition sichergestellt, dass es sich immer um das gleiche spitzwinklige Dreieck handelt, d.h. der Winkel bleibt exakt der gleiche.

Im spitzwinkligen Dreieck wird die Bewirtschaftungsrichtung entlang der größeren Kathete erfolgen. Prinzipiell würden die gleichen Bedingungen wie im gleichschenkligen Dreieck gelten, aber auf Grund der abweichenden Seitenverhältnisse ist aus praktischer Überlegung eine derartige Bewirtschaftung sinnvoller. Einerseits entsteht an der kurzen Kathete ein flächenmäßig kleineres Vorgewende, andererseits wird die Breite möglichst gering gehalten, was auch in weniger unerwünschten Wendevorgängen resultiert. Des Weiteren kann man den Vorteil nutzen, im rechten Winkel auf

ein Vorgewende zu treffen. Dies lässt den Anteil unerwünschter Überlappungen auf eine möglichst geringe Zahl sinken.

Das Verhältnis von 1 : 2 wurde aus praktischen Gründen gewählt, denn selten sind in der Praxis Schläge mehr als doppelt so lang wie breit. An dieser Stelle mit ungeraden Verhältnissen zu arbeiten würde die Untersuchung darüber hinaus nur unnötig verkomplizieren.

## **4.2 Flächengrößen**

Die Flächengröße ist die zweite Variation im Rahmen des Arbeitsmodells, um deren Einfluss auf Wendezeiten und Arbeitserledigung aufzuzeigen. Der Rahmen, in dem die Variation stattfinden soll wurde auf 1 bis 20 Hektar in jeweils 1-Hektar-Schritten gewählt.

Die Flächengrößen wurden unter Berücksichtigung der Praxis ausgewählt, Um das Modell nicht unnötig zu verkomplizieren, wurde 1 ha als unterste Größe festgelegt. Die gewählte obere Grenze von 20 ha soll dabei nicht heißen, dass in Deutschland keine größeren Strukturen zu finden sind; im Gegenteil, im ostdeutschen Gebiet sind deutlich größere Einheiten zu finden. Jedoch sollte auch bedacht werden, dass bei deutlich größeren Strukturen andere Probleme zunehmend wichtiger werden, wie beispielsweise die „Entsorgung“ der Erntemaschinen oder unnötige Leerfahrten zum Befüllen der Pflanzenschutz-, Dünge- und Bestelltechnik. Betrachtet man mit Blick auf die oberer Grenze der Flächengrößen das alte Bundesgebiet, so findet man doch deutlich weniger große Einheiten. Selten sind, außer bei alten Gutsbetrieben, Einzelflächen von 20 ha und mehr die Regel.

Wie auch schon in Kapitel 4.1 erwähnt, haben hier natürliche Gegebenheiten einen deutlichen Einfluss auf die Flächengrößen. Nur selten sind solche

Schläge überhaupt verfügbar, d.h. die vorliegende Struktur an Straßen, Wegen und Gräben lässt kaum größerer Parzellen zu.

Zum Ausdruck kommt dieser Umstand auch bei der Betrachtung von Gebieten, die erst vor kurzer Zeit ein Flurbereinigungsverfahren durchgeführt haben oder sich noch in einem solchen Verfahren befinden. Selbst nach Abschluss des Flurbereinigungsverfahrens sind in der Regel auch dort nur wenige Flächen mit wirklich großen Parzellen anzutreffen. Nicht zu vernachlässigen ist hierbei die große Anzahl unterschiedlicher Besitzer und Bewirtschafter, die ein Zusammenlegen der Flächen, wenn auch meist aus persönlichen Gründen, verhindern.

## 5 Modellentwicklung

In landwirtschaftlichen Betrieben ermittelte Ist-Zeiten sind von Menschen und Maschinen gebrauchte Zeiten für die Ausführung landwirtschaftlicher Arbeiten unter betriebsspezifischen Bedingungen (gemessen in AKh, AKmin, oder AKs). Deren Übertragung auf eine allgemein gültige Aussage ist nicht problemlos möglich, da betriebseigene Verhältnisse und eigene Arbeitsverfassungen vorliegen. Auch führt der Versuch ausschließlich durch Messung in der Praxis zu einer Aussage zu kommen, auf Grund der Vielzahl unterschiedlicher Einflussgrößen zu einer unverhältnismäßig hohen Zahl von Messwiederholungen, was im Rahmen der gegebenen Zeit zu einem ökonomisch nicht zu leistendem Unterfangen geraten würde.

Deshalb ist es notwendig zur Beantwortung der Frage nach dem Einfluss von Flächenform und Flächengröße auf die Arbeits- und Maschinenzeit die Daten in einer allgemeingültigen Form zu verknüpfen und als Planzeiten darzustellen.

Hierzu bietet es sich an in einem Arbeitsmodell auf der Basis idealisierter geometrischer Formen sowohl theoretische Zeitelemente, wie auch im Versuch ermittelte Zeitelemente zu Planzeiten zu verarbeiten.

### 5.1 Aufgabe des Arbeitsmodells

Um die Auswirkungen der vier geometrischen Flächenformen (Kapitel 4) in unterschiedlichen Größen- und Maschinenvariationen auf die Flächenbewirtschaftung darstellen zu können, wird ein rechnergestütztes Arbeitsmodell erstellt. Das Modell soll mit seinen Variablen unter sonst gleichen Bedingungen einen Kennwert zur Leistung und der daraus resultierenden Arbeitserledigungskosten für die unterschiedlichen geometrischen Formen

- Rechteck

- Quadrat
- Gleichschenkliges Dreieck
- Spitzwinkliges Dreieck

unter der Annahme von drei in Westdeutschland nach dem Stand der Technik üblichen Mechanisierungsvariationen

- Variation A (Bodenbearbeitung  $\leq 3m$ , Bestandsführung  $\leq 20m$ )
- Variation B (Bodenbearbeitung  $\leq 6m$ , Bestandsführung  $\leq 40m$ )
- Variation C (Direktsaat  $\leq 6m$ , Bestandsführung  $\leq 40m$ )

liefern.

Aus dieser Aufgabenstellung folgt, dass zur Beurteilung der Auswirkung von Flächengröße und Flächenform auf den Getreidebau ausschließlich die Grundzeit für Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandsführung herangezogen werden soll. Die Auswahl der entsprechenden Mechanisierungsverfahren erfolgte in Kapitel 3. Wesentliche Aufgabe des Arbeitsmodells ist die Ermittlung von Planzeiten als Normalleistung einer Arbeitskraft in der Dimension Arbeitskraftstunde (AKh).

Das zu erstellende Arbeitsmodell beruht auf einer theoretischen Flächenkonfiguration und es wird ausdrücklich auf die Berücksichtigung von Erholungszeiten und Störzeiten im Arbeitsablauf verzichtet. Damit Verfälschungen der Aussage durch nicht von der Flächenkonfiguration ausgehende Störgrößen verhindert werden.

Als geforderter Kennwert für die Leistung der ausgewählten Mechanisierungsverfahren zur Bewirtschaftung unterschiedlicher Flächenkonfigurationen wird unter Verarbeitung der Planzeit der Wert

- Minuten pro Hektar [min/ha]
- bzw. Hektar pro Stunde [ha/h]

bestimmt. Die Dimension ha/h ist in der Wissenschaft, Beratung und Praxis allgemein gebräuchliche zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von landwirtschaftlichem Gerät zur Flächenbewirtschaftung (SCHÖN, 1998 /

EICHHORN, 1999). Entsprechend ist die Dimension min/ha eine notwendige Voraussetzung zur Berechnung der Arbeitserledigungskosten in Euro pro Hektar eines Produktionsverfahrens in dem der Maschineneinsatz wie auch der Arbeitskräfteeinsatz mit der Dimension min/ha multipliziert wird.

Neben der theoretischen Flächenleistung aus konstanter Vorfahrtsgeschwindigkeit eines Traktors und der Arbeitsbreite einer eingesetzten Maschine können deutlichen Unterschiede in den Wendezeiten liegen. Diese zu erwartenden Unterschiede begründen sich in

- unterschiedlichen Vorfahrtsgeschwindigkeiten während des Wendevorganges;
- unterschiedlichen Anbauformen der Maschinen;
- einem unterschiedlichen Wenderadius in Abhängigkeit von Traktor und eingesetztem Gerät;
- unterschiedlichen Breiten der Vorgewende.

Daher soll das Modell in der Lage sein die in einem Praxisversuch zu ermittelnde Wendezeiten zu verrechnen.

Neben den Fragestellungen der Arbeitswirtschaft soll das Modell bei variierenden Breiten des Vorgewendes und unterschiedlicher Flächenkonfiguration über den Anteil des Vorgewendes an der Gesamtfläche Auskunft zu geben.

## **5.2 Beschreibung der Modellvariablen**

Gemäß den Aufgaben des Arbeitsmodells muss dieses über folgende Variable verfügen:

- Vorfahrtsgeschwindigkeit des Traktors [km/h]
- Arbeitsbreite der Maschine [m]
- Flächengröße [ha]
- Flächenform

- Breite des Vorgewendes [m]

Die unterschiedlichen Vorfahrtgeschwindigkeiten, Arbeitsbreiten und Breiten der Vorgewende wurden in Kapitel 3.1.2 als Konsequenz aus der Auswahl der Verfahrenstechnik erläutert. Die Flächengrößen sollen in Anlehnung an die Praxisverhältnisse in Ein-Hektar-Schritten zwischen ein und 20 Hektar variieren.

Die Flächenformen werden Kapitel 4 entnommen und fließen als variable Größe in das Modell ein.

Neben diesen, aufgrund von Analysen und Annahmen einzusetzenden Variablen, wird es eine noch zu ermittelnde Anzahl von unterschiedlichen Wendemanövern geben. Diese sollen dann als Zeitelemente in das Arbeitsmodell aufgenommen werden.

### **5.3 Geometrische Formen im Arbeitsmodell**

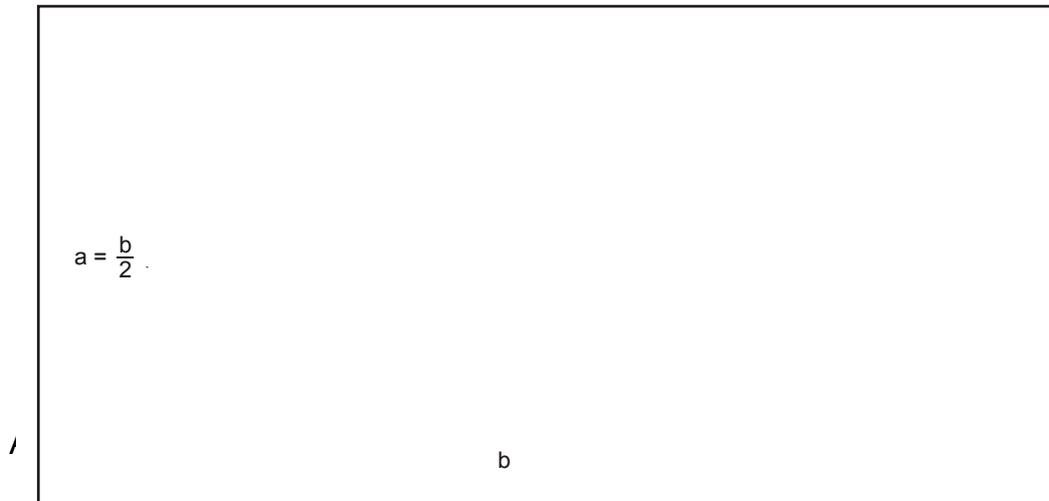
Wie in Kapitel 4 dargestellt, sollen die geometrischen Formen in jeder Größenvariation ein Seitenverhältnis von 1 : 2 aufweisen. Die Bearbeitungsrichtung soll gemäß den Vorgaben aus Kapitel 4 erfolgen.

#### **5.3.1 Das Rechteck im Modell**

Das Rechteck (Abb. 5-1) hat seine lange Seite in  $b$ . Diese wird nach Flächengrößen variierend errechnet mit:

$$b = \sqrt{\text{Hektar} \times 2}$$

Im Seitenverhältnis 1 : 2 entspricht die Seite  $a$  der Hälfte von Seite  $b$ .



Das Vorgewende liegt an der Seite  $a$  und der ihr gegenüberliegenden Seite. Seine Fläche errechnet sich aus:

$$F = (a \times \text{BreitedesVorgewendes}) \times 2$$

### 5.3.2 Das Quadrat im Arbeitsmodell

Aus der Flächengröße in Hektar errechnet sich die Seitenlänge des Quadrates:

$$a = \sqrt{\text{Hektar}}$$

Die Berechnung des Vorgewendes folgt der des Rechtecks.

### 5.3.3 Das gleichschenklige Dreieck im Arbeitsmodell

Das gleichschenklige Dreieck (Abb. 5-2) hat in der Hypotenuse  $c$  seine lange Seite an der sich die Bearbeitungsrichtung orientiert. Aus der jeweiligen Flächengröße in Hektar wird die Hypotenuse errechnet aus

$$c = 2 \times \sqrt{\text{Hektar}}$$

und dem entsprechend ist die Höhe

$$h = \frac{c}{2}$$

Daraus folgt in C ein rechter Winkel.

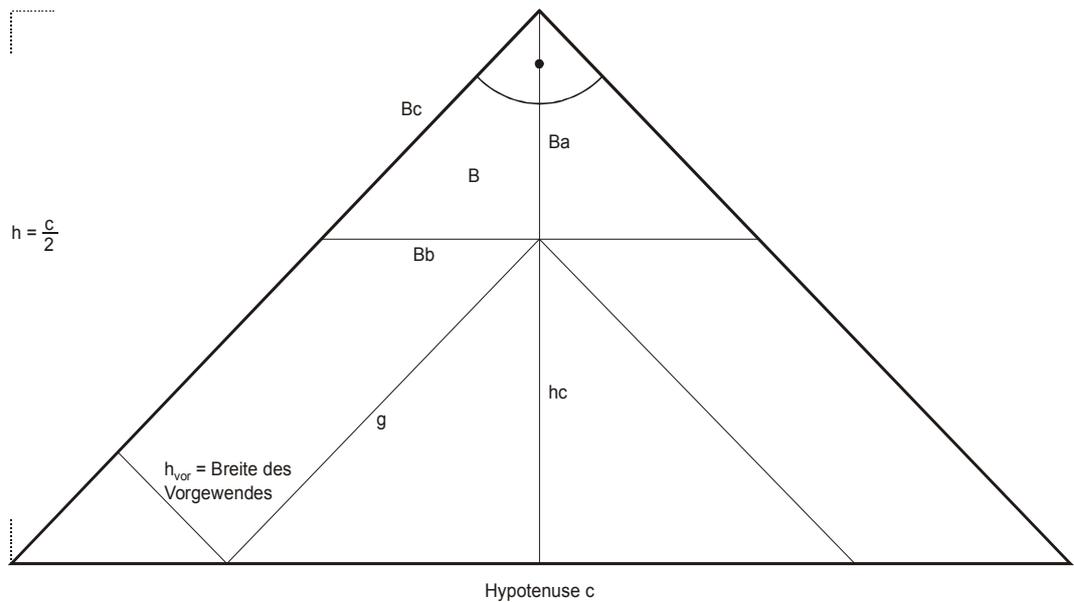


Abb. 5-2: Das gleichschenklige Dreieck im Arbeitsmodell

Das Vorgewende liegt an den beiden Katheten  $a$  und  $b$  und durch Fällen des Lotes von der Kathete wird die Vorgewendebreite bestimmt.

Die weiteren Längen und Flächen werden wie folgt errechnet:

Katheten  $a(b) = \sqrt{\left(\frac{c}{2}\right)^2} \times 2$

Länge des Vorgewendes  $g = \text{Kathete} - Bc$

$Bc = 2 \times h_{\text{vor}}$

Fläche des Vorgewendes  $F = (g \times h_{\text{vor}} + B) \times 2$

$Ba = \sqrt{Bc \times \frac{Bc}{2}}$

$hc = h - Ba$

Die Zahl der erforderlichen Wendevorgänge zur Bewirtschaftung der Fläche folgt aus:

$$\left( \frac{hc}{\text{Arbeitsbreite[m]}} \right) \times 2$$

Das Ergebnis der Multiplikation ist eine aufgerundete ganze Zahl.

Auch die Zahlen der jeweiligen Wendevorgänge im Vorgewende ergeben sich aus der Breite des Vorgewendes und der Arbeitsbreite der Maschine. Hinzu kommen durch die Winkel bedingt gesondert zu bestimmende Wendevorgänge im Bereich Pflanzenschutz und Düngung.

#### 5.3.4 Das spitzwinklige Dreieck im Arbeitsmodell

Auch das spitzwinklige Dreieck (Abb. 5-3) hat in der Hypotenuse  $c$  seine lange Seite, die Bearbeitungsrichtung ist allerdings an der Seite  $b$  angelegt, die zur Seite  $a$  ein Längenverhältnis von 2 : 1 aufweist. Zur Bestimmung der Seitenlängen werden folgende Formeln eingesetzt:

Hypotenuse  $c$   $c = \sqrt{a^2 + b^2}$

Kathete  $a$   $a = \sqrt{\text{Hektar}}$

Kathete  $b$   $b = 2 \times \sqrt{\text{Hektar}}$

Auch dieses, auf der Seite  $b$  liegende, für die Bearbeitung spitzwinklige Dreieck verfügt über einen rechten Winkel in Punkt  $C$ . Da das Vorgewende aber an der Kathete  $a$  und der Hypotenuse  $c$  liegt, liegen die Wendevorgänge allerdings nur in Fahrtrichtung zur Kathete  $a$  in einem Rechteck, hingegen muss in Fahrtrichtung zur Hypotenuse  $c$  der Wendevorgang in einem spitzen Winkel absolviert werden.

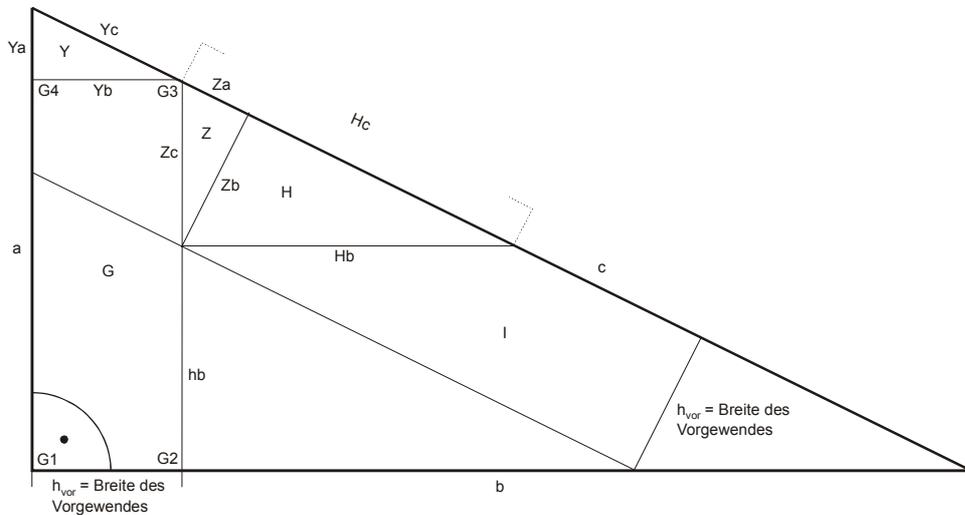


Abb. 5-3: Das spitzwinklige Dreieck im Arbeitsmodell

Die Bestimmung der außerhalb der Vorgewende liegenden Hauptbearbeitungsfläche mit der Höhe  $hb$  erfolgt über die Formel:

$$hb = a - Ya - Zc$$

Dabei sind:

$$Ya = \frac{h_{vor}}{2}$$

$$Zc = \sqrt{h_{vor} + \left(\frac{h_{vor}}{2}\right)^2}$$

Die Fläche des Vorgewendes wird aus den Teilflächen:

$$\sum GYHI$$

bestimmt. Wobei das Rechteck  $G$  durch die Punkte  $G1$  bis  $G4$  gekennzeichnet ist. Das Dreieck  $Y$  ist durch die Katheten  $Ya$  und  $Yb$  und die Hypotenuse  $Yc$  und das Dreieck  $H$  (inkl. des Dreiecks  $Z$ ) durch die Katheten  $Zc$  und  $Hb$  sowie die Hypotenuse  $Hc$  bestimmt.

Das verbleibende Parallelogramm  $I$  wird errechnet aus:

$$I = (c - Yc - Hc) \times h_{vor}$$

#### 5.4 Das Arbeitsmodell

Das Arbeitsmodell setzt voraus, dass die Arbeitsabläufe grundsätzlich nach folgendem Schema erfolgen:

- 1 Einfahren und Arbeitsbeginn in der Fläche auf den Arbeitsablaufskizzen (Abb. 5-4 bis 5-9) unten links;
- 2 Ausführen der Arbeiten auf der Fläche;
- 3 Verlassen der Fläche an dem Punkt, wo das Ausführen der Arbeiten beendet ist.

Dabei wird im Modell das jeweilige Ein- und Ausfahren auf und von der Fläche wegen des verschwindenden Einflusses auf die Gesamtarbeitszeit nicht berücksichtigt.

Die nachfolgenden Arbeitsablaufskizzen geben eine Übersicht zu dem angenommenen Arbeitsablauf in den jeweiligen Flächenformen. Die Pfeile erklären nur die Arbeitsrichtung und den jeweiligen Wechsel, nicht aber die hierfür notwendige Wendefigur. Die unterschiedlichen Wendevorgänge werden mit W1 bis W20 in den Arbeitsablaufskizzen bezeichnet. Die zugehörigen Wendefiguren werden erst in Kapitel 7 ermittelt. Außerdem sind die Skizzen nicht Maßstabsgetreu, da im Arbeitsmodell nach Flächengröße und Mechanisierung variiert wird.

Für die Zeitfunktionen werden folgende Elemente gebraucht:

- 1.) Theoretische Zeit zur Bearbeitung der Fläche bei konstanter Vorfahrt (km/h) ohne Wendevorgänge

$$T_i = \left( \frac{\frac{1[\text{ha}]}{\frac{\text{Vorfahrt}[\text{km/h}]}{10}}}{\text{Arbeitsbreite}[\text{m}]} \right) \times 60 \quad [\text{min/ha}]$$

2.) Zeitverbrauch eines Wendevorganges

$$W_i \quad W = \text{Wendevorgang} \quad (i = 1 \dots 20)$$

3.) Zahl der Wendevorgänge

$$W_z$$

4.) Zahl der Wendevorgänge im Vorgewende

$$W_{z \text{ vor}}$$

#### 5.4.1 Arbeitsablauf und Zeitfunktion im Rechteck

##### **Stoppelgrubber, Pflug, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination und Direktsaatmaschine**

Die nachfolgenden Ausführungen zum Rechteck sind ebenso für das Quadrat gültig.

Nach Einfahren unten links in das Rechteck beginnt die Arbeit mit Fahren im Anschluss (Abb. 5-4). Danach werden die beiden Vorgewende bearbeitet und der Traktor mit Maschine verlässt am jeweiligen Endpunkt des letzten Arbeitsganges die Fläche.



Abbildung 5-4: Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Stoppelgrubber, Pflug, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination und Direktsaatmaschine im Rechteck

Aus dem Arbeitsablauf kann die Zeitfunktion des Rechtecks (und Quadrates) für die angebauten Maschinen Stoppelgrubber, Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination erstellt werden.

$$t_1 = T_i + (W1 \times W1_t \times W_z) + (W1 \times W1_t \times W_z \text{vor})$$

Für den aufgesattelten Pflug und die aufgesattelte Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination folgt die Funktion

$$t_2 = T_i + (W10 \times W10_t \times W_z) + (W10 \times W10_t \times W_z \text{vor})$$

und für die aufgesattelten Maschinen Stoppelgrubber und Direktsaatmaschine

$$t_3 = T_i + (W11 \times W11_t \times W_z) + (W11 \times W11_t \times W_z \text{vor})$$

**Pflanzenschutzspritze und Düngestreuer**

Der Traktor mit Maschine fährt unten links in das Rechteck ein und beginnt mit der Arbeitserledigung (Abb. 5-5). Es folgen drei rechtwinklige Wendevorgänge und nach Abschluss der Vorgewendearbeit die Arbeitserledigung auf der Fläche mit Anschlussfahrt. Nach Abschluss der Arbeiten wird über die Vorgewendespur an der nächstgelegenen Seite die Fläche verlassen.

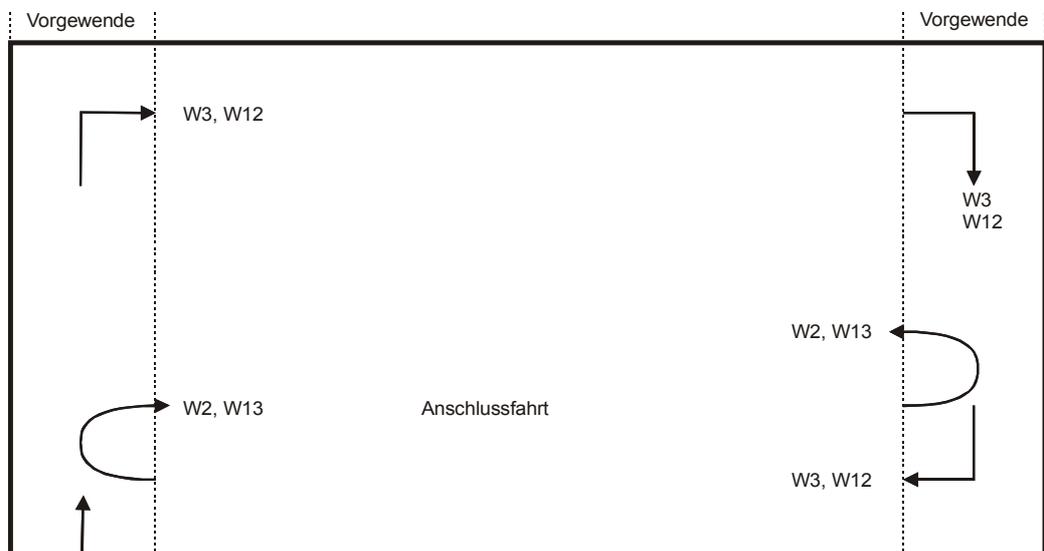


Abbildung 5-5: Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Pflanzenschutzspritze und Düngestreuer im Rechteck

Aus diesem Arbeitsablauf kann die Zeitfunktionen des Rechtecks (und Quadrates) für die angebaute Pflanzenschutzspritze und den entsprechenden Düngestreuer erstellt werden

$$t_4 = T_i + (W2 \times W2_t \times W_z) + (W3 \times W3_t \times 3)$$

und ebenso die Zeitfunktion für die aufgesattelte Pflanzenschutzspritze und den aufgesattelten Düngestreuer

$$t_5 = T_i + (W13 \times W13_t \times W_z) + (W12 \times W12_t \times 3)$$

**5.4.2 Arbeitsablauf und Zeitfunktion im gleichschenkligen Dreieck**

**Stoppelgrubber, Pflug, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination und Direktsaatmaschine**

Traktor und Maschine fahren unten links auf das Vorgewende ein und beginnen in Anschlussfahrt die Arbeitserledigung (Abb. 5-6). Danach erfolgt die Bearbeitung der beiden Vorgewende an den Katheten, wobei die Vorgewende unterschiedlich lang sind und jeweils am oberen Ende über einen rechten Winkel verfügen. Der Traktor mit Maschine verlässt am jeweiligen Endpunkt des letzten Arbeitsganges im Vorgewende die Fläche.

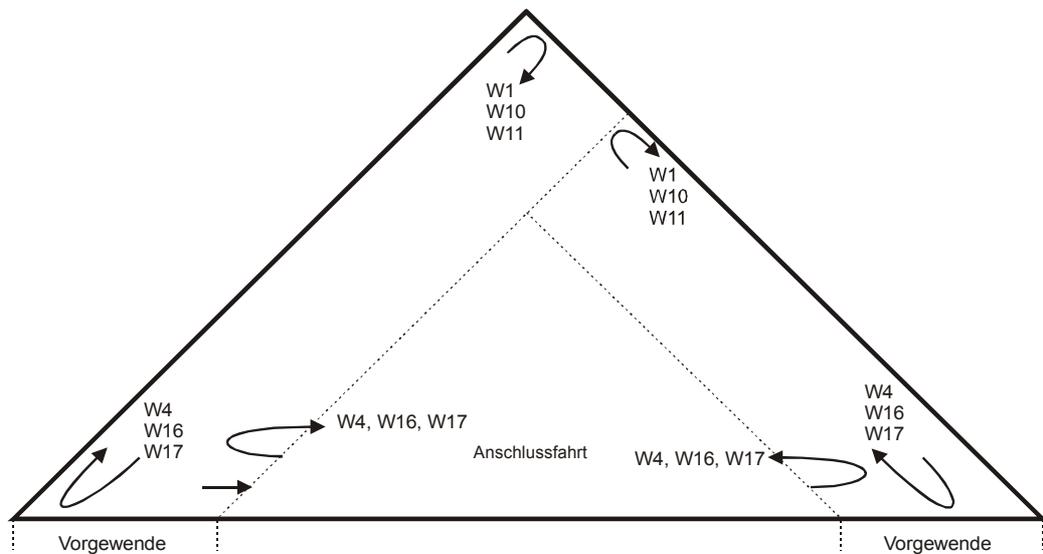


Abbildung 5-6: Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Stoppelgrubber, Pflug, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination und Direktsaatmaschine im gleichschenkligen Dreieck.

Für die angebauten Maschinen Stoppelgrubber, Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination folgt aufgrund der Arbeitsablaufskizze folgende Zeitfunktion:

$$t_6 = T_i + (W4 \times W4_t \times W_z) + (W4 \times W4_t \times \frac{W_z^{vor}}{2}) + (W1 \times W1_t \times \frac{W_z^{vor}}{2})$$

Für den aufgesattelten Pflug und die aufgesattelte Kreiselegge-Sämaschine-Kombination folgt die Funktion

$$t_7 = T_i + (W16 \times W16_i \times W_z) + (W16 \times W16_i \times \frac{W_z^{vor}}{2}) + (W10 \times W10_i \times \frac{W_z^{vor}}{2})$$

und für die aufgesattelten Maschinen Stoppelgrubber und Direktsaatmaschine

$$t_8 = T_i + (W17 \times W17_i \times W_z) + (W17 \times W17_i \times \frac{W_z^{vor}}{2}) + (W11 \times W11_i \times \frac{W_z^{vor}}{2})$$

**Pflanzenschutzspritze, Düngerstreuer**

Nach Einfahrt wird mit zwei Wendevorgängen zuerst das Vorgewende entlang der beiden Katheten bearbeitet (Abb. 5-7). Danach folgt in Anschlussfahrt die Arbeitserledigung auf der Fläche um am Ende der Arbeiten über die Vorgewendespur die Fläche an der nächstgelegenen Seite zu verlassen.

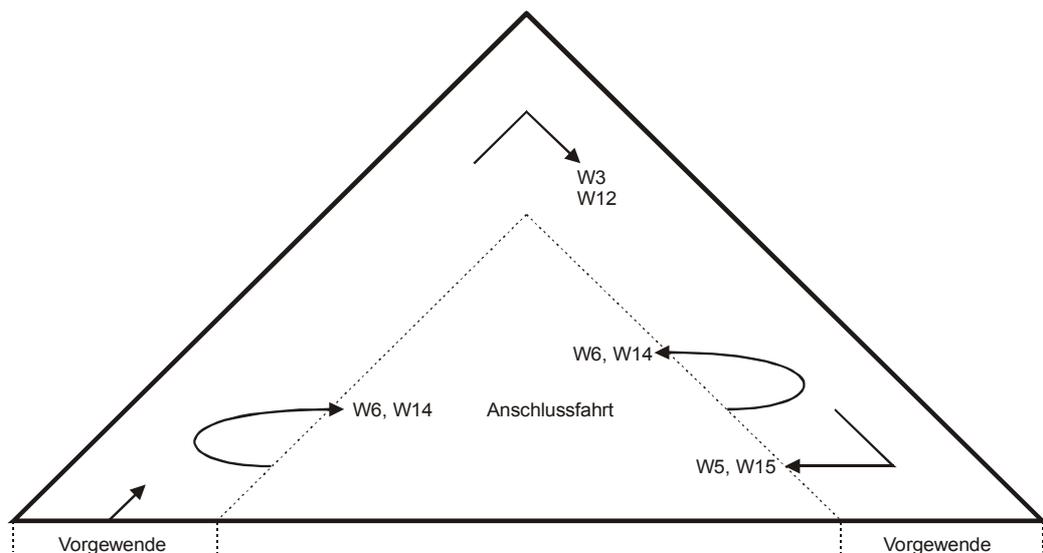


Abbildung 5-7: Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer im gleichschenkligen Dreieck

Aus der Arbeitsablaufskizze kann die Zeitfunktion für die angebaute Pflanzenschutzspritze und den entsprechenden Düngerstreuer im gleichschenkligen Dreieck erstellt werden

$$t_9 = T_t + (W6 \times W6_t \times W_z) + (W3 \times W3_t \times 1) + (W5 \times W5_t \times 1)$$

und ebenso für die aufgesattelte Pflanzenschutzspritze und den aufgesattelten Düngerstreuer

$$t_{10} = T_t + (W14 \times W14_t \times W_z) + (W12 \times W12_t \times 1) + (W15 \times W15_t \times 1)$$

### 5.4.3 Arbeitsablauf im spitzwinkligen Dreieck

#### Stoppelgrubber, Pflug Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination und Direktsaatmaschine

Traktor und Maschine beginnen auch hier unten links auf der Fläche mit der Arbeitserledigung in Anschlussfahrt (Abb. 5-8). Danach wird zuerst das Vorgewende an der kurzen Kathete und dann das an der Hypotenuse bearbeitet. Nach Abschluss der Arbeiten wird die Fläche an der nächstgelegenen Seite verlassen.

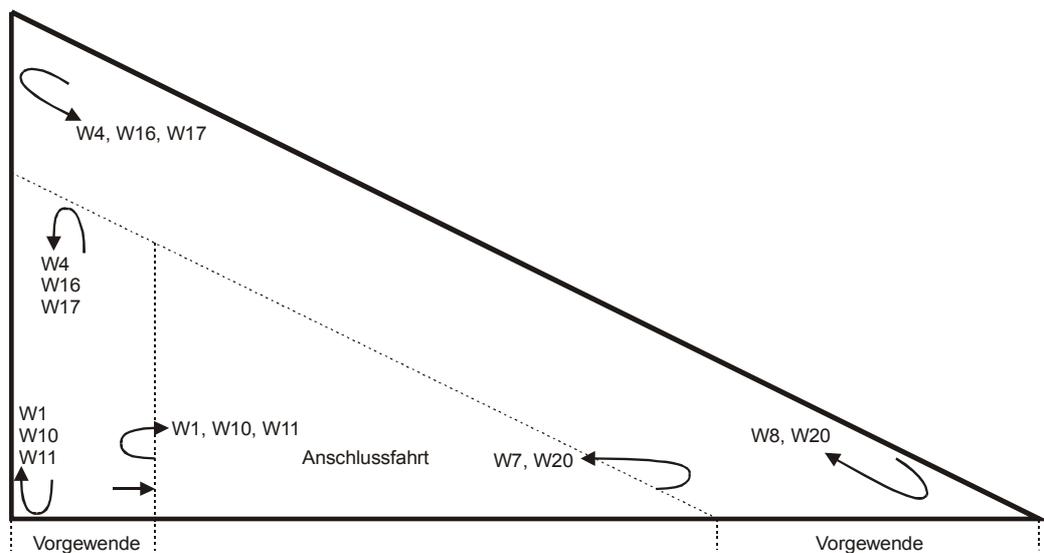


Abbildung 5-8: Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Stoppelgrubber, Pflug, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination und Direktsaatmaschine im spitzwinkligen Dreieck

Für die angebauten Maschinen Stoppelgrubber, Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination folgt aufgrund der Arbeitsablaufskizze für das spitzwinklige Dreieck folgende Zeitfunktion:

$$t_{11} = T_t + (W1 \times W1_t \times \frac{W_z}{2}) + (W7 \times W7_t \times \frac{W_z}{2}) + (W1 \times W1_t \times \frac{W_z \text{vor}}{\frac{1}{4}}) \\ + (W4 \times W4_t \times \frac{W_z \text{vor}}{2}) + (W7 \times W7_t \times \frac{W_z \text{vor}}{\frac{1}{4}})$$

Für den aufgesattelten Pflug und die aufgesattelte Kreiseleggen-Sämaschinen-Kombination folgt die Funktion

$$t_{12} = T_t + (W10 \times W10_t \times \frac{W_z}{2}) + (W20 \times W20_t \times \frac{W_z}{2}) + (W10 \times W10_t \times \frac{W_z \text{vor}}{\frac{1}{4}}) \\ + (W16 \times W16_t \times \frac{W_z \text{vor}}{2}) + (W20 \times W20_t \times \frac{W_z \text{vor}}{\frac{1}{4}})$$

und für die aufgesattelten Maschinen Stoppelgrubber und Direktsaatmaschine

$$t_{13} = T_t + (W11 \times W11_t \times \frac{W_z}{2}) + (W20 \times W20_t \times \frac{W_z}{2}) + (W11 \times W11_t \times \frac{W_z \text{vor}}{\frac{1}{4}}) \\ + (W17 \times W17_t \times \frac{W_z \text{vor}}{2}) + (W20 \times W20_t \times \frac{W_z \text{vor}}{\frac{1}{4}})$$

### **Pflanzenschutzspritze, Düngerstreuer**

Der Arbeitsablauf erfolgt im spitzwinkligen Dreieck (Abb. 5-9) nach dem Schema des gleichschenkligen Dreiecks.

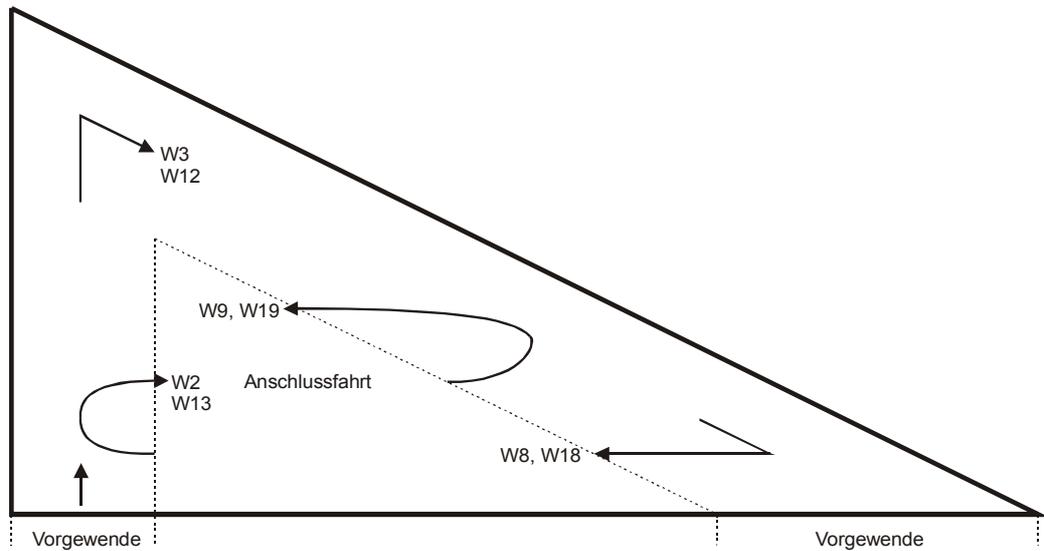


Abbildung 5-9: Arbeitsablaufskizze für den Einsatz von Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer im gleichschenkligen Dreieck

Aus der Arbeitsablaufskizze kann die Zeitfunktion für die angebaute Pflanzenschutzspritze und den entsprechenden Düngerstreuer im spitzwinkligen Dreieck erstellt werden

$$t_{14} = T_i + (W2 \times W2_i \times \frac{W_z}{2}) + (W9 \times W9_i \times \frac{W_z}{2}) + (W3 \times W3_i \times 1) + (W8 \times W8_i \times 1)$$

und ebenso für die aufgesattelte Pflanzenschutzspritze und den aufgesattelten Düngerstreuer

$$t_{15} = T_i + (W13 \times W13_i \times \frac{W_z}{2}) + (W19 \times W19_i \times \frac{W_z}{2}) + (W12 \times W12_i \times 1) + (W18 \times W18_i \times 1)$$

## **6 Zeitermittlung von Wendevorgängen im Praxisversuch**

Auf Grund der Variationen in der Mechanisierung wie auch durch die Flächenformen sind unterschiedliche Wendevorgänge in der Bewirtschaftung von Flächen erforderlich. Diese unterschiedlichen Wendevorgänge können nicht pauschal mit ihrem Zeitaufwand bestimmt werden, haben aber einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis im Arbeitsmodell. Daher ist es erforderlich im Praxisversuch die Zeiten für die Wendevorgänge zu ermitteln, um daraus Planzeitelemente zu erstellen.

### **6.1 Beschreibung der Wendevorgänge**

In einem ersten Schritt werden alle aufgrund der ausgewählten Mechanisierung und der Flächenformen erforderlichen Wendefiguren analysiert. Hierbei kommt es zu Überschneidungen von gleichen Wendefiguren bei unterschiedlichen Maschinen:

- Der Traktor mit den angebauten Maschinen Stoppelgrubber, Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination fährt die gleiche Wendefigur bei gleicher Vorfahrtgeschwindigkeit während des Wendevorganges in der jeweiligen Flächenform;
- Ebenso fahren die vorgenannten aufgesattelten Maschinen die gleiche Wendefigur in den jeweiligen Flächenformen, allerdings unterscheiden sich Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination von Stoppelgrubber und Direktsaatmaschine durch unterschiedliche Vorfahrtgeschwindigkeiten während des Wendevorganges (mit Ausnahme von Wendefigur 20);
- Die Pflanzenschutzspritze und der pneumatische Düngerstreuer haben jeweils die gleiche Arbeitsbreite und werden auch mit der gleichen Vorfahrtgeschwindigkeit gefahren. Daraus folgt wiederum die gleiche Wendefigur für beide Maschinen in der jeweiligen Flächen-

form, allerdings unterschiedlich für die aufgesattelten und die angebauten Maschinen.

Wendevorgänge			
Nr.	Wendung	Maschine	Figur des Wendevorganges
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im rechten Winkel um 180°</li> <li>• Vorgewende 9 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• angebaut</li> <li>Grubber</li> <li>Pflug</li> <li>Kombination</li> </ul>	
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im rechten Winkel um 180°</li> <li>• Vorgewende 15 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• angebaut</li> <li>PfSch-Spritze</li> <li>Düngerstreuer</li> </ul>	
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im rechten Winkel um 90°</li> <li>• Vorgewende 15 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• angebaut</li> <li>PfSch-Spritze</li> <li>Düngerstreuer</li> </ul>	
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im 45° Winkel um 180°</li> <li>• Vorgewende 9 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• angebaut</li> <li>Grubber</li> <li>Pflug</li> <li>Kombination</li> </ul>	
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im 45° Winkel um 45°</li> <li>• Vorgewende 15 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• angebaut</li> <li>PfSch-Spritze</li> <li>Düngerstreuer</li> </ul>	
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im 45° Winkel um 90°</li> <li>• Vorgewende 15 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• angebaut</li> <li>PfSch-Spritze</li> <li>Düngerstreuer</li> </ul>	
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im spitzen Winkel um 180°</li> <li>• Vorgewende 9 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• angebaut</li> <li>Grubber</li> <li>Pflug</li> <li>Kombination</li> </ul>	

- Wendevorgang
- > Einfahrt in und Ausfahrt aus den Wendevorgang (nur zum Verständnis der Wendefigur)
- 1 Teilabschnitte des Wendefigur, die ohne Änderung (Vorwärts oder Rückwärts) gefahren werden.
- r Fahrtrichtung rückwärts

Abbildung 6-1: Figuren der Wendevorgänge Nr. 1-7

Wendevorgänge			
Nr.	Flächenform	Maschine	Figur des Wendevorganges
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>im spitzen Winkel um <math>26,5^\circ</math></li> <li>Vorgewende 15 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>angebaut</li> <li>PfSch-Spritze Düngerstreuer</li> </ul>	
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>im spitzen Winkel um <math>180^\circ</math></li> <li>Vorgewende 15 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>angebaut</li> <li>PfSch-Spritze Düngerstreuer</li> </ul>	
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>im rechten Winkel um <math>180^\circ</math></li> <li>Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>aufgesattelt 6 km/h</li> <li>Pflug Kombination</li> </ul>	
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>im rechten Winkel um <math>180^\circ</math></li> <li>Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>aufgesattelt 15 km/h</li> <li>Grubber Direktsaat</li> </ul>	
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>im rechten Winkel um <math>90^\circ</math></li> <li>Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>aufgesattelt 6 km/h</li> <li>PfSch-Spritze Düngerstreuer</li> </ul>	
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>im rechten Winkel um <math>180^\circ</math></li> <li>Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>aufgesattelt 6 km/h</li> <li>PfSch-Spritze Düngerstreuer</li> </ul>	
14	<ul style="list-style-type: none"> <li>im <math>45^\circ</math> Winkel um <math>180^\circ</math></li> <li>Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>aufgesattelt 6 km/h</li> <li>PfSch-Spritze Düngerstreuer</li> </ul>	

Wendevorgang  
 Einfahrt in und Ausfahrt aus den Wendevorgang (nur zum Verständnis der Wendefigur)  
 1 Teilabschnitte des Wendefigur, die ohne Änderung (Vorwärts oder Rückwärts) gefahren werden.  
 r Fahrtrichtung rückwärts

Abbildung 6-2: Figuren der Wendevorgänge Nr. 8-14

Wendevorgänge			
Nr.	Winkel / Wendung	Maschine	Figur des Wendevorganges
15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im 45° Winkel</li> <li>• um 45°</li> <li>• Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufgesattelt</li> <li>• 6 km/h</li> </ul> PfSch-Spritze Düngerstreuer	
16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im 45° Winkel</li> <li>• 180°</li> <li>• Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufgesattelt</li> <li>• 6 km/h</li> </ul> Pflug Kombination	
17	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im 45° Winkel</li> <li>• um 180°</li> <li>• Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufgesattelt</li> <li>• 15 km/h</li> </ul> Grubber Direktsaat	
18	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im spitzen Winkel</li> <li>• um 26,5°</li> <li>• Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufgesattelt</li> <li>• 6 km/h</li> </ul> PfSch-Spritze Düngerstreuer	
19	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im spitzen Winkel</li> <li>• um 180°</li> <li>• Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufgesattelt</li> <li>• 6 km/h</li> </ul> PfSch-Spritze Düngerstreuer	
20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im spitzen Winkel</li> <li>• um 180°</li> <li>• Vorgewende 36 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufgesattelt</li> <li>• 15 km/h</li> </ul> Pflug Kombination Grubber Direktsaat	

- Wendevorgang
- Einfahrt in und Ausfahrt aus den Wendevorgang (nur zum Verständnis der Wendefigur)
- 1 Teilabschnitte des Wendefigur, die ohne Änderung (Vorwärts oder Rückwärts) gefahren werden.
- r Fahrrichtung rückwärts

Abbildung 6-3: Figuren der Wendevorgänge Nr. 15-20

Die Abbildungen 6-1 bis 6-3 zeigen die ausgewählten Wendefiguren mit ihren Kennwerten zu Flächenform, Art der Wendung und der Vorgewendebreite als Tiefe des Wenderaumes. In der Spalte „Maschine“ wird die zur Wendefigur gehörende Maschine – auch in der Form des Anbaus an den Traktor (angebaut oder aufgesattelt) – genannt. Die Nummer der Wendefigur ist ein wesentliches Merkmal zur Unterscheidung der Wendevorgänge und findet sich u.a. übereinstimmend im Kapitel 5.4 (Das Arbeitsmodell) wieder.

## **6.2 Versuchsaufbau**

Nach Festlegung der Wendevorgänge der verschiedenen Maschinenkonfigurationen wird mittels der Zeitelementmethode eine Arbeitszeitstudie erstellt. Diese soll in einem Versuch praxisnah durchgeführt werden.

### **6.2.1 Fläche und Arbeitsbedingungen**

Die Versuchsfläche soll möglichst über optimale Bedingungen verfügen, um Ergebnisse nicht durch mangelnde Bodenstruktur und Hangneigung zu verfälschen. Ein entsprechender ebener Schlag in der Größe von ca. zwei Hektar stand in der Gemarkung Bruchenbrücken (Wetterau) zur Verfügung. Auf der abgeernteten Winter-Weizen-Fläche wurden die geometrischen Formen exakt ausgemessen und für den Traktorfahrer gut sichtbar zu begrenzt.

Gemäß der einzusetzenden Maschinen wurde mittels einer flachen Pflugfurche die jeweilige Breite des Vorgewendes in der Flächenform angedeutet (Tab. 6-1).

Tabelle 6-1: Breite des Vorgewendes bei unterschiedlichen Mechanisierungsvariationen

Vorgewende	Mechanisierungsvariation		
	A	B	C
m	9	36	36

Zur Bestimmung der Vorgewendebreite wurde in der Maschinenvariation A, gemäß der guten fachlichen Praxis, vorausgesetzt:

- Das Vorgewende ist immer ein Vielfaches der Arbeitsbreite des Pfluges;
- Die Breite des Vorgewendes ist  $\frac{1}{2}$  der Arbeitsbreite der Pflanzenschutzspritze (15 m) plus einer Arbeitsbreite des Pfluges (1,50 m).

Für die Maschinenvariationen B und C mit aufgesattelten Maschinen wurde dem größeren Wenderadius Rechnung getragen, indem die Breite des Vorgewendes der vollen Arbeitsbreite der Pflanzenschutzspritze (36 m) entsprach.

Der Fahrer der Traktoren war ein landwirtschaftlicher Unternehmer der mit allen eingesetzten Maschinen bereits praktische Erfahrungen hatte. Die eingesetzten Traktoren und Maschinen entsprachen dem Stand der Technik und waren in einem guten technischen Zustand.

Die Witterungsbedingungen waren an den Versuchstagen gut. Eine längere regenfreie Periode vor- und Sonnenschein an den Versuchstagen ermöglichten ideale Fahrbedingungen (Abb. 6-4 und 6-5).

Das arithmetische Mittel der Bodenfeuchte lag am ersten Tag (10.09.2004) der Fahrversuche bei 30,19 und am zweiten Tag (13.09.2004) bei 33,80 Vol.%. Die Außentemperatur zeigte am ersten Tag ein arithmetisches Mittel von 25,55 und am zweiten Versuchstag von 20,43 °C.

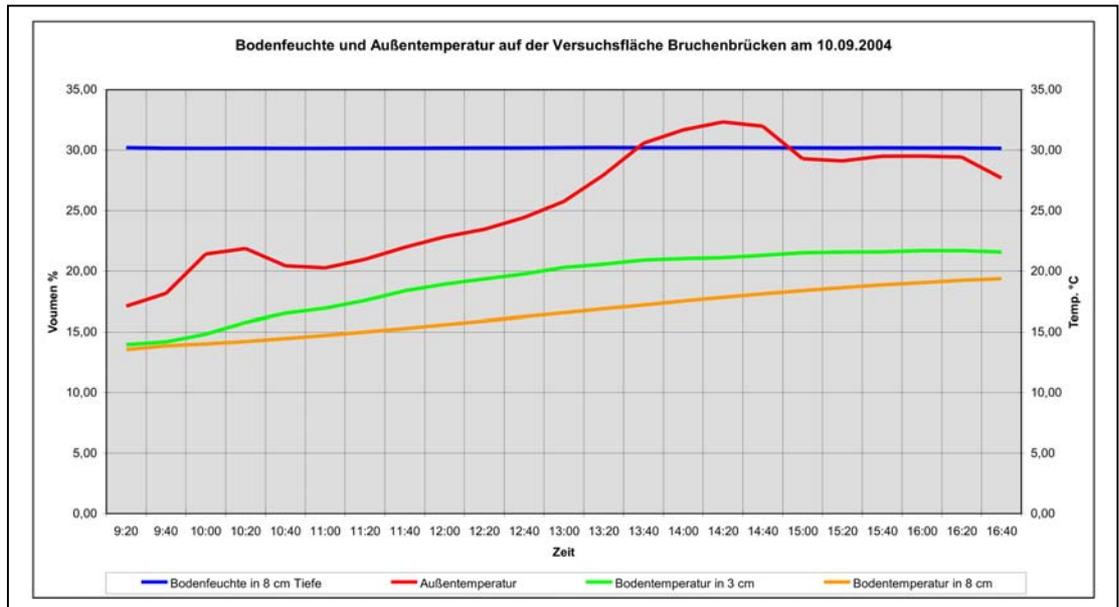


Abbildung 6-4: Bodenfeuchte und Temperatur am 10.09.2004

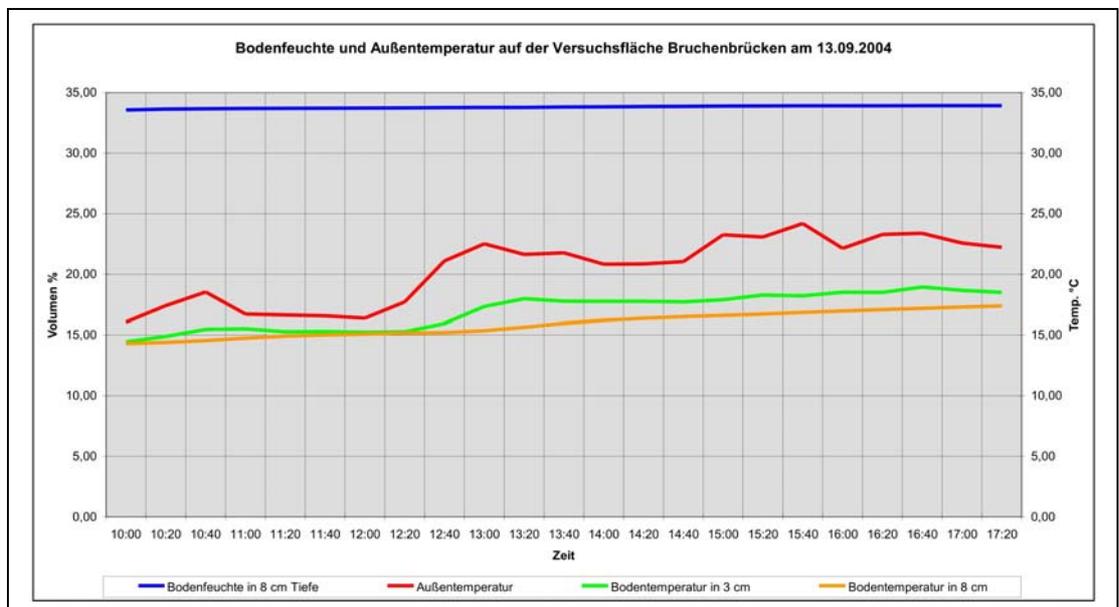


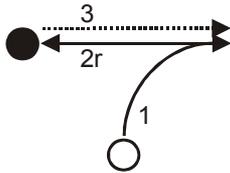
Abbildung 6-5: Bodenfeuchte und Temperatur am 13.09.2004

**6.2.2 Arbeitsablauf und Durchführung der Zeitmessung**

Für jeden Wendevorgang mit der jeweiligen Maschine und der entsprechenden Vorfahrtsgeschwindigkeit wurde ein Messprotokoll vorbereitet (Abb. 6-6).

**Messprotokoll (Zeitelementmethode) für Projekt:** Flächenform und Wendezeit  
 Punkt 4 "Durchführung der Zeitmessung"

Datum / Uhrzeit ..... Zeitnehmer .....

- Maschinenvariation: A (klein)  B (mittel)  C (groß)
- Flächenform: Rechteck  Quadrat  Trapez   
 Gleichschenkliges Dreieck  Spitzwinkliges Dreieck
- Arbeitsgang: Pflügen  Kombi  PfSch
- Wendevorgang:  V = 6 km/h
- Zeitmesspunkt:  Anfang der Messung  
 Ende der Messung
- Hinweis: Zeitmesspunkt (für Anfang und Ende) ist die Messmarke an der Maschine

Arbeitselement Wendevorgang	Zeit [s] Gesamt	Bemerkung
Messwert 1		
Messwert 2		
Messwert 3		
Messwert 4		
Messwert 5		
Test 1		
Test 2		

Abbildung 6-6: Beispiel eines Messprotokolls

Für den Wendevorgang wurde festgelegt, dass dieser mit dem Stoppelgrubber, dem Pflug und der Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination ausschließlich innerhalb der Fläche zu erfolgen hat. Beim Düngerstreuer und der Pflanzenschutzspritze sollten die Verteildüsen (pneumatisch) bzw. der Spritzdüsenbalken zur vollständigen Erfassung der Fläche, in Dreiecken mit den jeweiligen Teilbreiten über die Flächenbegrenzung heraus ragen.

Vor jedem Wendevorgang wurde aufgrund der Flächenform und der Vorgehendbreite die Wendefigur mit dem Fahrer und dem Messpersonal erörtert. Der Fahrer begann seine Arbeit bereits ca. 50 m vor dem Anfangsmesspunkt und stoppte den Traktor erst 20 m hinter dem Endmesspunkt. An der jeweiligen Maschine wurde eine Messmarke angebracht, die das exakte Erfassen des Passierens der Messpunkte ermöglichte. Die Messpunkte wurden eingemessen und mit zwei Messstangen in einer Flucht rechtwinklig zur Arbeitsmaschine markiert. Durch diesen Versuchsaufbau war für das Messpersonal ein genaues Anpeilen der passierenden Maschine möglich.

Jeder Wendevorgang wurde von zwei Zeitnehmern gleichzeitig erfasst. Die Zeitmessung erfolgte mit digitalen Stoppuhren.

Für jeden Wendevorgang wurden zunächst zwei Testfahrten durchgeführt. So hatte der Traktorfahrer die Möglichkeit den Wendevorgang vorher „einzuüben“ und mögliche Unklarheiten für die Zeitnehmer konnten beseitigt werden. Danach wurde der Wendevorgang fünf Mal gefahren und die Zeit jeweils protokolliert.

### **6.2.3 Ergebnis der Zeitmessung**

Eine Auswertung der Messergebnisse beider Zeitnehmer zeigt eine hohe Übereinstimmung der jeweiligen Messung (Tab. 6-2). So lag bei 100 durchgeführten Messungen bei 68 Messungen die Abweichung bei unter 0,3

Sekunden (Höchster Wert = 0,80 s), bzw. bei 74 % der Messungen lag die Abweichung beider Messergebnisse bei unter einem Prozent (Höchster Wert 2,66 %). Mit diesen niedrigen Messfehlern wird eine hohe Genauigkeit der jeweiligen Einzelmessung konstatiert.

Tabelle 6-2: Häufigkeit von Messabweichungen beider Zeitnehmer beim Zeitnehmen der Wendevorgänge (n = 100)

Abweichung beider Messwerte in Sekunden		Abweichung beider Messwerte in Prozent	
Intervall s	Häufigkeit Zahl	Intervall v-H.	Häufigkeit Zahl
0,00 – 0,10	30	0,00 – 0,50	41
> 0,10 – 0,20	22	> 0,50 – 1,00	33
> 0,20 – 0,30	16	> 1,00 – 1,50	16
> 0,30 – 0,40	11	> 1,50 – 2,00	5
> 0,40 – 0,50	10	> 2,00 – 2,50	3
> 0,50 – 0,60	4	> 2,50 – 3,00	2
> 0,60 – 0,70	4		
> 0,70 – 0,80	3		

Zur Verarbeitung der Messwerte wird zuerst aus den jeweiligen Messpaaren beider Zeitnehmer ein arithmetisches Mittel gebildet. Aus diesen, für den Wendevorgang vorhandenen fünf Werten wird wiederum ein arithmetisches Mittel gebildet, was nach einer statistischen Auswertung als Ausgangswert für ein Planzeitelement dient. Tabelle 6-3 verdeutlicht beispielhaft für einen Wendevorgang dieses Vorgehen.

Tabelle 6-3: Messwerte und Bildung des arithmetischen Mittels am Beispiel des Wendevorganges Nr. 1 (Maschinenvariation A, Rechteck, Pflügen)

	Zeitnehmer		Arithmetisches Mittel aus Wert der Zeitnehmer 1 und 2
	Nr. 1	Nr. 2	
	s	s	s
Test 1	16,49	-	verworfen
Test 2	16,56	16,74	16,65
Messwert 1	15,27	15,13	15,20
Messwert 2	15,53	15,81	15,67
Messwert 3	15,54	15,40	15,47
Messwert 4	16,24	16,23	16,24
Messwert 5	17,32	17,23	17,28
Arithmetisches Mittel aus Messwert 1 - 5			15,97

Aus den gewonnenen Mittelwerten sollen Planzeitelemente erstellt werden. Hierzu sind diese einer statistischen Analyse auf Varianz und Standardabweichung zu unterziehen und das Konfidenzintervall mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 5\%$  zu bestimmen.

Soweit nach der statistischen Überprüfung das arithmetische Mittel als Planzeitelement übernommen werden kann, wird dieses auf 1/10 Sekunde aufgerundet und als Arbeitskraft-Sekunde (AKs) in Tabelle 6-4 ausgewiesen.

Tabelle: 6-4: Statistische Werte der Planzeitelemente

Wendevorgang Nr.	Arithmet. Mittel $\mu$ s	Varianz $s^2$	Standardabweichung s	Minimum s	Maximum s	Range s	Standardfehler	Standardnormalverteilung $1 - \alpha = 0,95$	Konfidenzintervall	Planzeit-Element AKs
1	15,97	0,54	0,74	15,20	17,28	2,08	0,33	1,70	15,41 < $\mu$ < 16,53	16,0
2	16,30	0,12	0,35	15,90	16,95	1,05	0,16	1,70	16,03 < $\mu$ < 16,56	16,3
3	23,35	0,59	0,77	22,57	24,64	2,07	0,34	1,70	22,76 < $\mu$ < 23,93	23,3
4	17,13	0,05	0,22	16,77	17,35	0,58	0,10	1,70	16,96 < $\mu$ < 17,29	17,1
5	40,69	1,04	1,02	38,42	41,35	2,94	0,46	1,70	39,62 < $\mu$ < 41,16	40,7
6	26,46	0,28	0,53	25,81	27,17	1,36	0,24	1,70	26,06 < $\mu$ < 26,87	26,5
7	23,78	0,32	0,57	22,91	24,51	1,60	0,25	1,70	23,35 < $\mu$ < 24,21	23,8
8	60,20	6,39	2,53	57,85	64,82	6,97	1,13	1,70	59,28 < $\mu$ < 63,12	60,2
9	33,34	1,77	1,33	32,03	35,90	3,86	0,59	1,70	32,33 < $\mu$ < 34,35	33,3
10	25,03	0,63	0,79	23,90	26,20	2,30	0,35	1,70	24,43 < $\mu$ < 25,63	25,0
11	17,68	1,12	1,06	16,21	18,98	2,77	0,47	1,70	16,87 < $\mu$ < 18,48	17,7
12	36,92	4,69	2,17	33,54	39,47	5,94	0,97	1,70	35,27 < $\mu$ < 38,57	36,9
13	32,44	0,55	0,74	31,06	33,08	2,02	0,33	1,70	31,87 < $\mu$ < 33,00	32,4
14	47,27	1,88	1,37	45,25	48,86	3,61	0,61	1,70	46,23 < $\mu$ < 48,31	47,3
15	86,54	3,82	1,96	83,80	88,93	5,13	0,87	1,70	85,06 < $\mu$ < 88,03	86,5
16	26,98	0,33	0,57	26,41	27,72	1,31	0,26	1,70	26,55 < $\mu$ < 27,42	27,0
17	20,19	0,62	0,79	19,33	21,59	2,26	0,35	1,70	19,59 < $\mu$ < 20,79	20,2
18	110,80	20,01	4,47	104,85	116,38	11,53	2,00	1,70	107,40 < $\mu$ < 114,20	110,8
19	62,06	5,17	2,27	58,62	65,29	6,67	1,02	1,70	60,33 < $\mu$ < 63,79	62,1
20	19,33	0,26	0,51	18,69	19,89	1,21	0,23	1,70	18,94 < $\mu$ < 19,72	19,3

## **7 Modellanwendung und Ergebnisdarstellung**

### **7.1 Fläche des Vorgewendes**

Der Anteil des Vorgewendes an der Gesamtfläche ist von besonderer Bedeutung, da ein Minderertrag auf der Vorgewendefläche zu erwarten ist (JANINHOFF, 2000). Das angewandte Arbeitsmodell weist für die ausgewerteten Flächenformen und Flächengrößen die entsprechenden Vorgewendeflächen in m<sup>2</sup> aus. Tabelle 7-1 zeigt die Ergebnisse für die Mechanisierungsvariation A

- Traktor 66 kW
- Pflug 3-Schar 1,5 m
- Stoppelgrubber und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination 3 m
- Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer 15 m
- Breite des Vorgewendes 9 m

und Tabelle 8-2 für die Mechanisierungsvariation B

- Traktor 175 kW
- Pflug 6-Schar 3 m
- Stoppelgrubber und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination 6 m
- Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer 36 m
- Breite des Vorgewendes 36 m

Mechanisierungsvariation C entspricht der Variation B unter Austausch von Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination durch eine Direktsaatmaschine mit ebenfalls 6 m Arbeitsbreite. Daher entspricht auch das Vorgewende mit 36 m der Variation B. Daraus folgt, dass die Ergebnisse für das Vorgewende der Mechanisierungsvariation C denen von Variation B gleichen und hier nicht gesondert aufgeführt werden.

Tabelle 7-1: Anteil des Vorgewendes an der Gesamtfläche bei Maschinenvariation A (Vorgewende = 9 m) und einem Seitenverhältnis der Fläche von 1 : 2

Gesamtfläche	Vorgewendefläche Rechteck		Vorgewendefläche Quadrat		Vorgewendefläche Gleichschenklige s. Dreieck		Vorgewendefläche Spitzwinkliges Dreieck	
	Anteil an Gesamtfl.		Anteil an Gesamtfl.		Anteil an Gesamtfl.		Anteil an Gesamtfl.	
ha	m <sup>2</sup>	v.H.	m <sup>2</sup>	v.H.	m <sup>2</sup>	v.H.	m <sup>2</sup>	v.H.
1	1.273	12,73	1.800	18,00	2.384	23,84	2.700	27,00
2	1.800	9,00	2.546	12,73	3.438	17,19	3.907	19,53
3	2.205	7,35	3.118	10,39	4.247	14,16	4.832	16,11
4	2.546	6,36	3.600	9,00	4.929	12,32	5.613	14,03
5	2.846	5,69	4.025	8,05	5.530	11,06	6.300	12,60
6	3.118	5,02	4.409	7,35	6.073	10,21	6.922	11,54
7	3.367	4,81	4.762	6,80	6.573	9,39	7.494	10,71
8	3.600	4,50	5.091	6,36	7.038	8,80	8.026	10,03
9	3.818	4,24	5.400	6,00	7.475	8,31	8.525	9,47
10	4.025	4,02	5.692	5,69	7.888	7,89	8.998	9,00
11	4.221	3,84	5.970	5,43	8.281	7,53	9.447	8,59
12	4.409	3,67	6.235	5,20	8.656	7,21	9.877	8,23
13	4.589	3,53	6.490	4,99	9.016	6,94	10.289	7,91
14	4.762	3,40	6.735	4,81	9.363	6,69	10.685	7,63
15	4.930	3,29	6.971	4,65	9.697	6,46	11.068	7,38
16	5.091	3,18	7.200	4,50	10.020	6,26	11.438	7,15
17	5.248	3,09	7.422	4,37	10.334	6,08	11.796	6,94
18	5.400	3,00	7.637	4,24	10.638	5,91	12.144	6,75
19	5.548	2,92	7.846	4,13	10.934	5,75	12.483	6,57
20	5.692	2,85	8.050	4,02	11.222	5,61	12.813	6,41

Bei einer Breite des Vorgewendes von 9 m (Mechanisierungsvariation A) besteht im Rechteck eine Vorgewendefläche mit einem Anteil von 12,73 % bei einer Fläche von einem Hektar. Dieser Anteil reduziert sich auf 2,85 % bei 20 Hektar. Die Vorgewendefläche im Quadrat nimmt 18 % bei einem Hektar ein und sinkt auf 4,02 % bei 20 Hektar. In den Dreiecken steigen die Anteile der Vorgewendeflächen an den Gesamtflächen nochmals an auf 23,84 % im gleichschenkligen Dreieck und 27 % im spitzwinkligen Dreieck bei jeweils einem Hektar um dann bei ansteigender Gesamtfläche ebenfalls prozentual zurück zu gehen.

Tabelle 7-2: Anteil des Vorgewendes an der Gesamtfläche bei Maschinenvariation B (Vorgewende = 36 m) und einem Seitenverhältnis der Fläche von 1 : 2

Gesamtfläche	Vorgewendefläche Rechteck		Vorgewendefläche Quadrat		Vorgewendefläche Gleichschenkliges Dreieck		Vorgewendefläche Spitzwinkliges Dreieck	
	Anteil an Gesamtfl.		Anteil an Gesamtfl.		Anteil an Gesamtfl.		Anteil an Gesamtfl.	
ha	m <sup>2</sup>	v.H.	m <sup>2</sup>	v.H.	m <sup>2</sup>	v.H.	m <sup>2</sup>	v.H.
1	5.091	50,91	7.200	72,00	7.590	75,90	8.257	82,57
2	7.200	36,00	10.182	50,91	11.808	59,04	13.082	65,41
3	8.818	29,39	12.471	41,57	15.044	50,15	16.785	55,95
4	10.182	25,46	14.400	36,00	17.773	44,43	19.907	49,77
5	11.384	22,77	16.100	32,20	20.176	40,35	22.657	45,31
6	12.471	20,78	17.636	29,39	22.350	37,25	25.143	41,91
7	13.470	19,24	19.049	27,21	24.348	34,78	27.430	39,19
8	14.400	18,00	20.365	25,46	26.208	32,76	29.558	36,95
9	15.274	16,97	21.600	24,00	27.955	31,06	31.557	35,06
10	16.100	16,10	22.768	22,77	29.607	29,61	33.447	33,45
11	16.885	15,35	23.880	21,71	31.179	28,34	35.245	32,04
12	17.636	14,70	24.942	20,78	32.681	27,23	36.963	30,80
13	18.356	14,12	25.960	19,97	34.121	26,25	38.611	29,70
14	19.049	13,61	26.940	19,24	35.507	25,36	40.197	28,71
15	19.718	13,15	27.885	18,59	36.844	24,56	41.727	27,82
16	20.365	12,73	28.800	18,00	38.137	23,84	43.206	27,00
17	20.991	12,35	29.686	17,46	39.391	23,17	44.641	26,26
18	21.600	12,00	30.547	16,97	40.608	22,56	46.033	25,57
19	22.192	11,68	31.384	16,52	41.792	22,00	47.388	24,94
20	22.768	11,38	32.199	16,10	42.945	21,47	48.707	24,35

Erwartungsgemäß führt die Breite des Vorgewendes von 36 m (Mechanisierungsvariation B) zu einem deutlichen Anstieg seines Flächenanteils auf 50,91 % im Rechteck, 72 % im Quadrat, 75,90 % im gleichschenkligen Dreieck und 82,57 % im spitzwinkligen Dreieck bei jeweils einem Hektar. Während beim Rechteck von 20 Hektar sich der Vorgewendeanteil auf 11,38 % reduziert – das entspricht einem Rückgang um 77,65 % – verbleibt beim spitzwinkligen Dreieck ein Anteil von fast 25 % (Rückgang um 70,51 %). Abbildung 7-1 zeigt diesen Zusammenhang von Gesamtfläche und

Vorgewende mit dem deutlich stärkeren Anstieg der Vorgewendefläche in den beiden Dreiecken bei steigender Größe der Gesamtfläche.

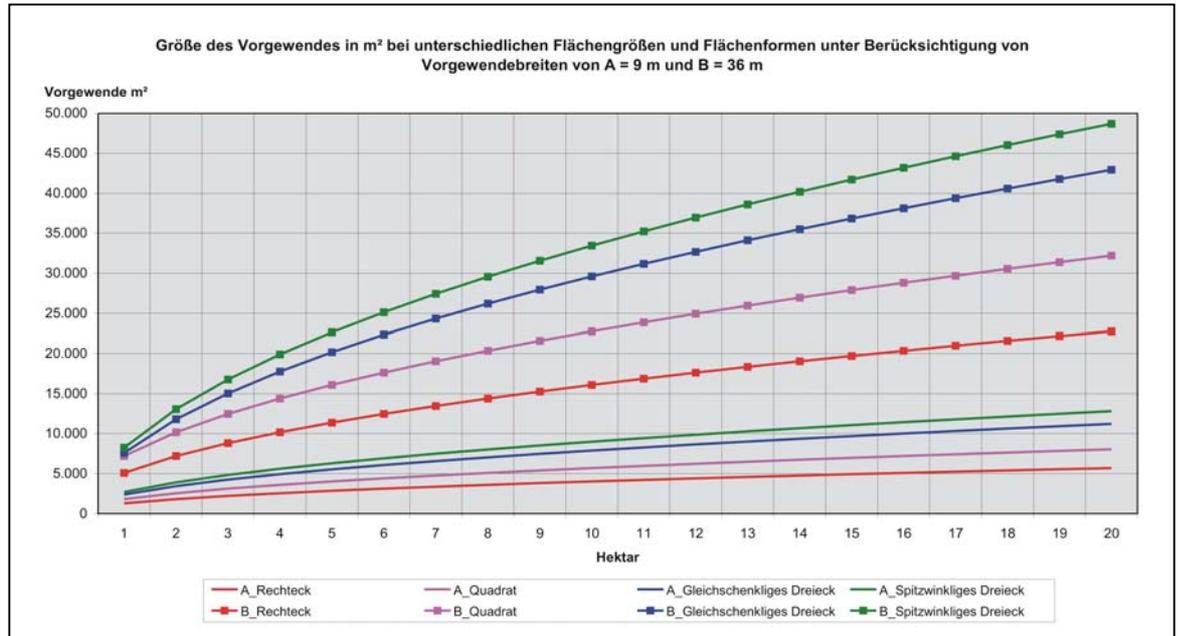


Abbildung 7-1: Größe des Vorgewendes bei unterschiedlichen Flächengrößen und Flächenformen

## 7.2 Wendezeitanteile

Die Modellanwendung zeigt deutliche Unterschiede in den Wendezeiten der Mechanisierungsvariationen A und B bei variierender Flächengröße und Flächenform. Für die Mechanisierungsvariation C gelten für den Stoppelgrubber, die Pflanzenschutzspritze und den Düngerstreuer die Angaben aus Variation B. Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination entfallen in Variation C, wofür die Direktsaatmaschine hinzu kommt. Für diese wiederum gelten die gleichen Wendezeitanteile wie für den Stoppelgrubber in Variation B.

Bei der Mechanisierungsvariation A haben in den nachfolgenden Tabellen Pflug und Kreiseleggen-Sämaschinenkombination gleiche oder ähnliche Werte. Daher ist in den zugehörigen grafischen Darstellungen die Linie des

Pfluges (blau) von der Linie der Kreiselegge-Sämaschinenkombination (gelb) oftmals überdeckt.

### 7.2.1 Wendezeitanteile im Rechteck

Die Wendezeiten und ihre Anteile an der Gesamtzeit des jeweiligen Arbeitsganges im Rechteck sind in den Tabellen 7-3 (Mechanisierungsvariation A) und 7-4 (Mechanisierungsvariation B) dargestellt.

Durch die geringe Arbeitsbreite von 1,50 m ist bei dem Arbeitsgang Pflügen eine hohe Anzahl von Wendungen erforderlich, die zu entsprechend hohen Wendezeiten von 32 Minuten bei einem Hektar, bzw. 119 Minuten bei 20 Hektar führen. Bezogen auf die Gesamtarbeitszeit weist der Pflug allerdings ähnliche Werte wie die Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination, die Pflanzenschutzspritze und der Düngerstreuer auf. Nur für den Stoppelgrubber mit seiner hohen Vorfahrtsgeschwindigkeit von 15 km/h führen die Wendevorgänge relativ zu einer deutlich höheren Zeitbelastung von über 50 % bei einer Fläche von einem Hektar.

Die Maschinenvariation B verfügt mit 3 m (Pflug), 6 m (Sekundärbodenbearbeitung und Aussaat) und 36 m (Applikationstechnik) über eine wesentlich höhere Arbeitsbreiten der Maschinen. Daraus folgt eine höhere Flächenleistung pro Zeiteinheit und damit verbunden eine relativ höhere Zeitbelastung durch die Wendemanöver gegenüber der Maschinenvariation A. Auf eine Besonderheit weist der fehlende Wert für die 1-Hektar-Fläche in der Spalte Pflanzenschutz / Düngerstreuer hin. Auf einer ein Hektar großen Fläche (Seitenverhältnis 1 : 2) kann mit einer Arbeitsbreite von 36 m gemäß der Fahrfigur (Kap. 6.1) keine weitere Bearbeitung mit voller Arbeitsbreite erfolgen. Das Arbeitsmodell weist in diesem Fall einen Fehlerwert aus.

Tabelle 7-3: Wendezeitanteile im Rechteck (Mechanisierungsvariation A) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung

Gesamt-Fläche ha	3-Schar Pflug 1,5 m		Kreiselegge-Sä- maschinen-Kombi. 3 m		PfSch-Spritze / Düngerstreuer 15 m		Stoppelgrubber 3 m	
	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.
1	32	32,25	16	32,43	3	29,54	16	54,55
2	42	24,01	21	24,01	4	22,55	21	44,13
3	50	20,04	25	20,04	5	19,02	25	38,52
4	57	17,56	29	17,63	5	16,42	29	34,85
5	63	15,82	31	15,88	6	15,37	31	32,07
6	68	14,53	34	14,58	7	14,16	34	29,91
7	73	13,54	37	13,54	7	12,83	37	28,13
8	78	12,70	39	12,74	7	12,20	39	26,74
9	82	12,01	41	12,04	8	11,71	41	25,50
10	86	11,44	43	11,47	8	10,99	43	24,47
11	90	10,92	45	10,95	9	10,68	45	23,50
12	94	10,47	47	10,50	9	10,16	47	22,68
13	97	10,07	49	10,07	9	9,70	49	21,88
14	101	9,72	50	9,75	10	9,55	50	21,26
15	104	9,42	52	9,42	10	9,20	52	20,63
16	107	9,13	54	9,13	10	8,89	54	20,08
17	110	8,86	55	8,88	11	8,61	55	19,58
18	113	8,61	57	8,61	11	8,36	57	19,06
19	116	8,39	58	8,41	11	8,32	58	18,66
20	119	8,19	59	8,19	12	8,11	59	18,23

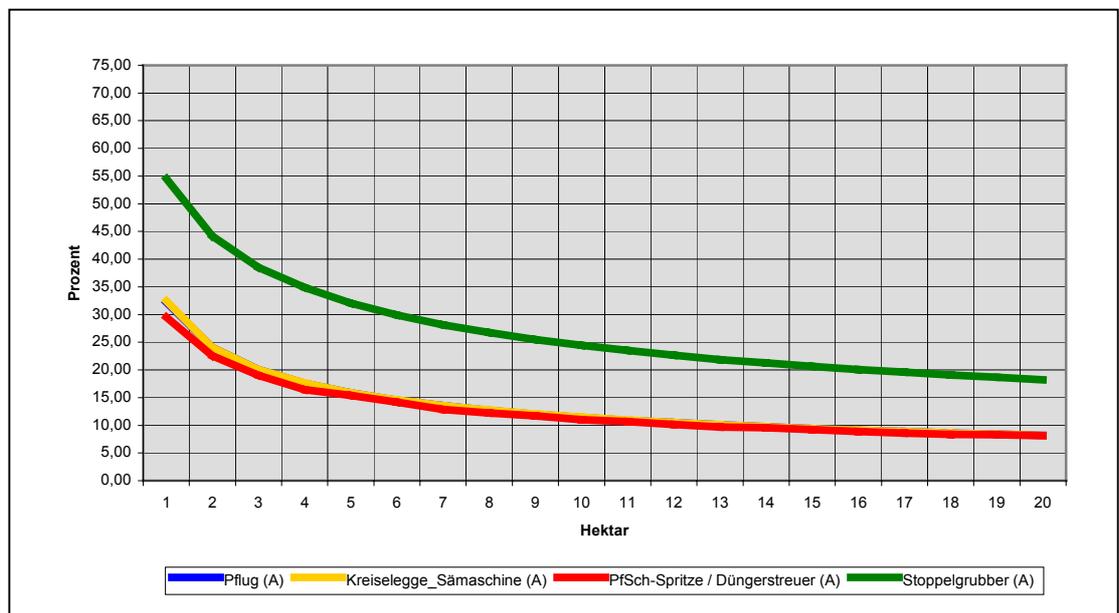
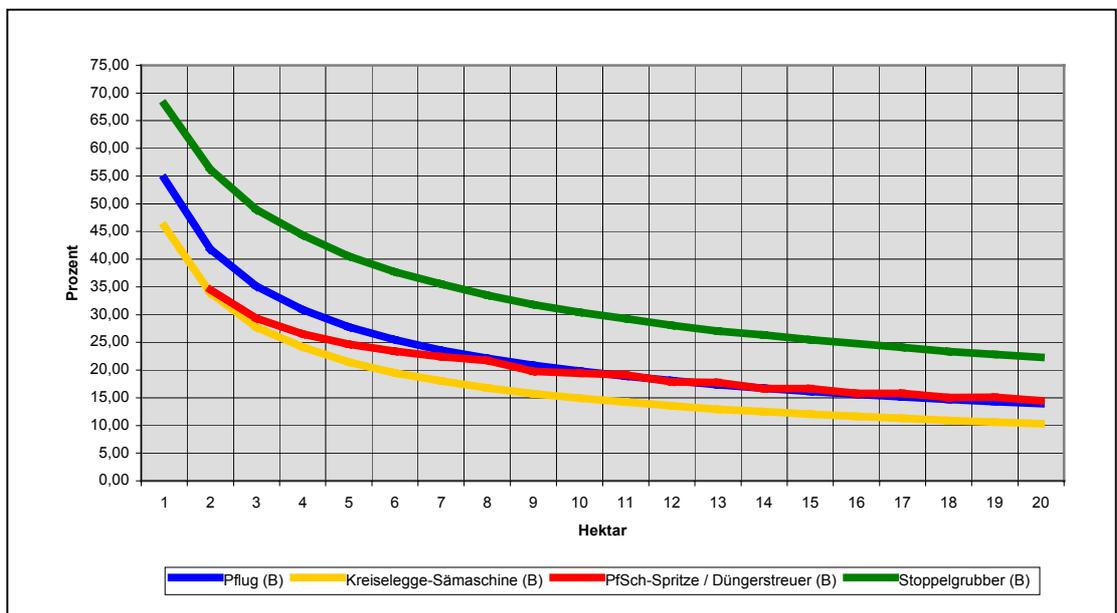


Tabelle 7-4: Wendezeitanteile im Rechteck (Mechanisierungsvariation B) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung

Gesamt-Fläche ha	6-Schar Pflug 3 m		Kreiselegge-Sä- maschinen-Kombi. 6 m		PfSch-Spritze / Düngerstreuer 36 m		Stoppelgrubber 6 m	
	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.
1	40	54,55	14	45,93	-	-	14	67,99
2	48	41,82	17	33,92	3	34,49	17	56,20
3	54	35,14	19	27,72	3	29,37	19	48,95
4	60	30,89	21	24,16	4	26,49	21	44,32
5	64	27,80	23	21,42	5	24,66	23	40,53
6	68	25,47	24	19,48	5	23,38	24	37,68
7	72	23,60	26	18,03	6	22,44	26	35,48
8	76	22,14	27	16,76	6	21,72	27	33,48
9	79	20,88	28	15,74	6	19,78	28	31,84
10	83	19,84	29	14,91	7	19,44	29	30,46
11	85	18,89	30	14,22	7	19,17	30	29,30
12	88	18,09	31	13,52	7	17,85	31	28,10
13	91	17,33	32	12,92	8	17,74	32	27,06
14	94	16,73	33	12,50	8	16,68	33	26,32
15	96	16,14	34	12,04	8	16,65	34	25,50
16	99	15,62	35	11,63	8	15,78	35	24,76
17	101	15,16	36	11,27	9	15,81	36	24,10
18	103	14,69	37	10,87	9	15,06	37	23,36
19	106	14,32	37	10,58	9	15,12	37	22,83
20	108	13,93	38	10,32	9	14,48	38	22,34



### 7.2.2 Wendzeitanteile im Quadrat

Die Wendezeiten und ihre Anteile an der Gesamtzeit des jeweiligen Arbeitsganges im Quadrat sind in den Tabellen 7-5 (Mechanisierungsvariation A) und 7-6 (Mechanisierungsvariation B) zusammengefasst.

Das Quadrat weist gegenüber dem Rechteck (Seitenverhältnis 1 : 2) beim Pflügen von einem Hektar einen um 10 Minuten höheren Wendezeitanteil auf. Trotz abnehmenden Einflusses der Flächenform bei steigender Flächengröße besteht auch noch bei 20 Hektar mit 166 Minuten ein um 47 Minuten höherer Wendezeitanteil im Quadrat gegenüber dem Rechteck. Wenn auch beim Pflanzenschutz und Düngerstreuen der Wendezeitanteil bei einem Hektar nur bei 4 Minuten liegt, so zeigt die Auswirkung auf den prozentualen Anteil der Wendezeit an der Gesamtarbeitszeit des Arbeitsganges mit 36,80 % im Quadrat gegenüber 29,54 % im Rechteck einen deutlich negativen Einfluss quadratischer Flächen auf die Bewirtschaftung.

Die Maschinenvariation B zeigt beim Pflügen von 1 bis 3 Hektar großen quadratischen Flächen mit 48 bis 68 Minuten für Wendezeiten einen höheren Wert als bei der Mechanisierungsvariation A. Und erst ab 4 Hektar erreichen die größeren Arbeitsbreiten auch einen Vorteil durch einen niedrigeren Minutenwert. Prozentual bleibt allerdings bei allen Arbeitsverfahren der Mechanisierungsvariation B im Quadrat, ebenso wie im Rechteck, der Anteil der Wendezeiten höher als in der Variation A.

Tabelle 7-5: Wendezeitanteile im Quadrat (Mechanisierungsvariation A) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung

Gesamt-Fläche ha	3-Schar Pflug 1,5 m		Kreiselegge-Sä- maschinen-Kombi. 3 m		PfSch-Spritze / Düngerstreuer 15 m		Stoppelgrubber 3 m	
	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.
1	42	38,73	21	38,73	4	36,80	21	61,24
2	57	29,87	29	29,97	5	28,21	29	51,69
3	68	25,37	34	25,45	7	24,81	34	46,04
4	78	22,54	39	22,60	7	21,75	39	42,20
5	86	20,53	43	20,58	8	19,80	43	39,32
6	94	18,96	47	19,01	9	18,44	47	36,97
7	101	17,72	50	17,76	10	17,44	50	35,06
8	107	16,74	54	16,74	10	16,32	54	33,44
9	113	15,86	57	15,86	11	15,43	57	32,02
10	119	15,14	59	15,14	12	14,99	59	30,84
11	125	14,52	62	14,54	12	14,37	62	29,85
12	130	13,94	65	13,94	13	13,84	65	28,83
13	135	13,45	67	13,47	13	13,38	67	28,02
14	139	13,00	70	13,02	14	12,77	70	27,23
15	144	12,61	72	12,63	14	12,44	72	26,54
16	149	12,24	74	12,24	15	12,15	74	25,86
17	153	11,90	77	11,90	15	11,70	77	25,24
18	157	11,59	79	11,59	16	11,48	79	24,69
19	162	11,31	81	11,31	16	11,28	81	24,18
20	166	11,05	83	11,06	16	10,94	83	23,72

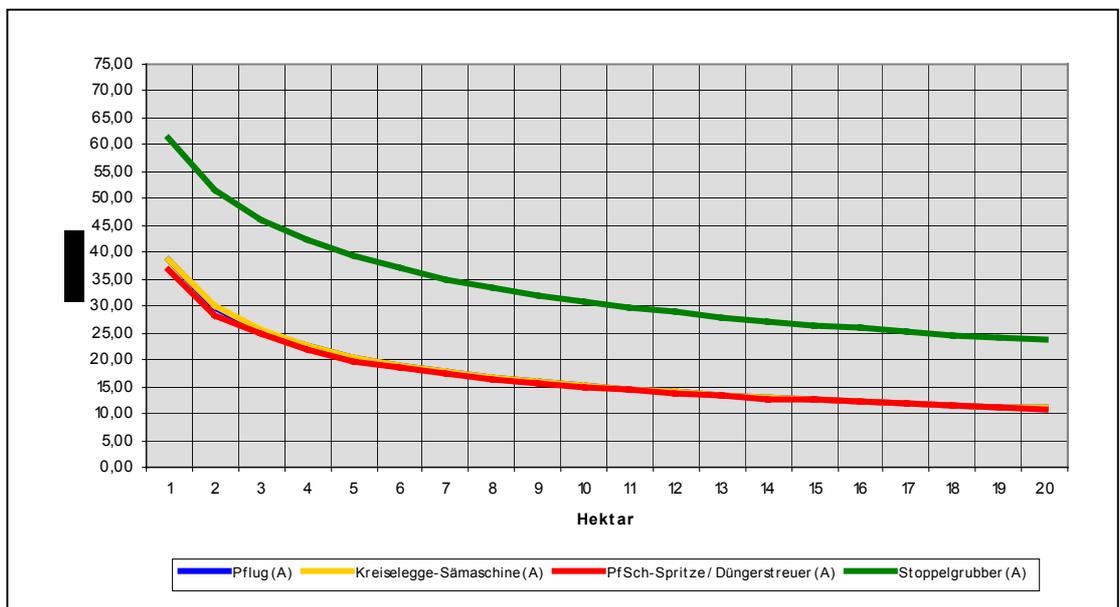
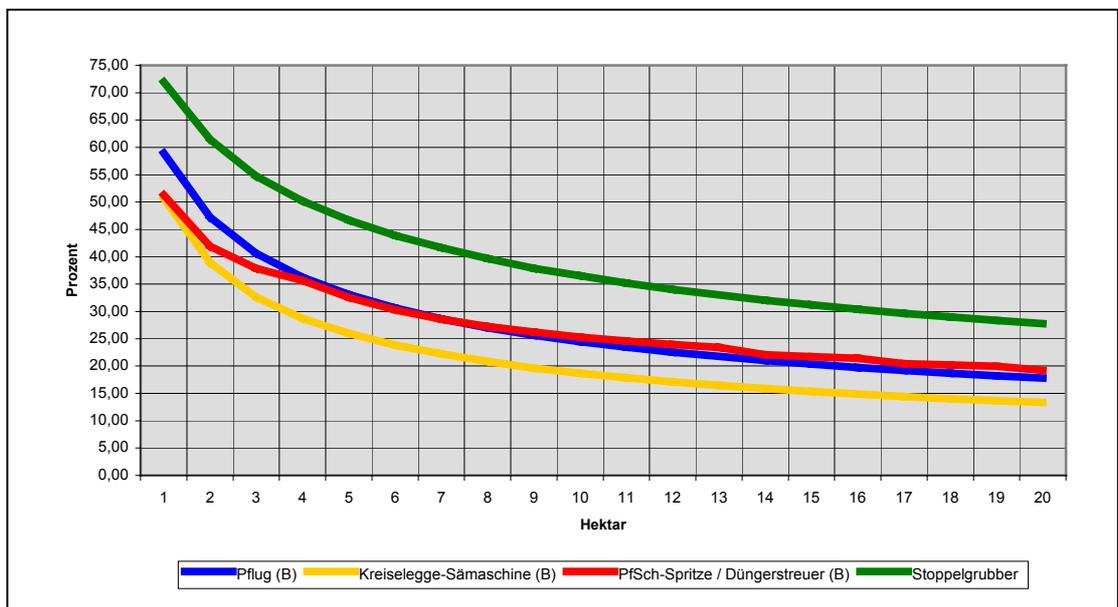


Tabelle 7-6: Wendezeitanteile im Quadrat (Mechanisierungsvariation B) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung

Gesamt-Fläche ha	6-Schar Pflug 3 m		Kreislegge-Sä- maschinen-Kombi. 6 m		PfSch-Spritze / Düngerstreuer 36 m		Stoppelgrubber 6 m	
	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.
1	48	58,97	17	50,66	3	51,29	17	71,96
2	60	47,19	21	38,92	4	41,89	21	61,43
3	68	40,59	24	32,61	5	37,90	24	54,74
4	76	36,25	27	28,71	6	35,69	27	50,17
5	83	33,11	29	25,95	7	32,56	29	46,70
6	88	30,64	31	23,82	7	30,30	31	43,8
7	94	28,66	33	22,22	8	28,59	3	41,67
8	99	27,02	35	20,84	8	27,25	35	39,69
9	103	25,62	37	19,61	9	26,18	37	37,88
10	108	24,46	38	18,71	9	25,29	38	36,52
11	113	23,48	40	17,85	10	24,56	40	35,19
12	116	22,52	41	17,12	10	23,93	41	34,05
13	120	21,75	43	16,49	11	23,39	43	33,05
14	124	21,02	44	15,85	11	22,09	44	32,02
15	128	20,37	45	15,38	12	21,73	45	31,24
16	131	19,75	47	14,88	12	21,41	47	30,41
17	135	19,19	48	14,43	12	20,40	48	29,66
18	138	18,69	49	14,03	13	20,19	49	28,98
19	141	18,24	50	13,67	13	19,99	50	28,36
20	145	17,82	51	13,34	13	19,18	51	27,80



### 7.2.3 Wendzeitanteile im gleichschenkligen Dreieck

Die Wendezeiten und ihre Anteile an der Gesamtzeit des jeweiligen Arbeitsganges im gleichschenkligen Dreieck sind in den Tabellen 7-7 (Mechanisierungsvariation A) und 7-8 (Mechanisierungsvariation B) dargestellt.

Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination (Variation A) weisen auch im gleichschenkligen Dreieck, aus den bereits im Rechteck dargestellten Gründen, einen gleichen prozentualen Wendezeitenanteil auf. Anders stellt sich die Situation für die Pflanzenschutzspritze und den Düngerstreuer dar. Deren Wendezeitenanteil steigt im gleichschenkligen Dreieck mit 47,05 % bei einem Hektar deutlich an gegenüber 37,48 % beim Pflügen, während im Rechteck dieser Wert von 32,25 % (Pflügen) auf 29,54 % sinkt.

Auch in der Mechanisierungsvariation B nimmt durch die aufwendigeren Wendefiguren im Dreieck der Wendezeitenanteil von Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer deutlich zu gegenüber dem Pflug und der Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination. Auch bei einer Fläche von 20 Hektar verbleibt noch ein Wendezeitenanteil beim Pflanzenschutz von 26,65 % gegenüber 17,41 % beim Pflügen.

Tabelle 7-7: Wendezeitanteile im gleichschenkligen Dreieck (Mechanisierungsvariation A) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung

Gesamt-Fläche ha	3-Schar Pflug 1,5 m		Kreiselegge-Sä- maschinen-Kombi. 3 m		PfSch-Spritze / Düngerstreuer 15 m		Stoppelgrubber 3 m	
	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.
1	40	37,48	20	37,65	6	47,05	20	60,15
2	56	29,44	28	29,44	9	39,15	28	51,06
3	68	25,26	34	25,26	10	34,08	34	45,80
4	78	22,60	39	22,60	12	30,43	39	42,20
5	87	20,70	43	20,70	13	28,04	43	39,48
6	95	19,19	47	19,19	14	26,36	47	37,25
7	102	17,99	51	17,99	16	25,10	51	35,42
8	110	17,03	55	17,07	17	23,66	55	33,98
9	116	16,21	58	16,21	18	22,93	58	32,60
10	122	15,47	61	15,50	19	21,94	61	31,45
11	128	14,86	64	14,86	20	21,10	64	30,38
12	133	14,30	67	14,32	21	20,40	67	29,47
13	139	13,81	69	13,81	21	19,79	69	28,60
14	144	13,37	72	13,37	22	19,26	72	27,83
15	149	12,98	75	12,98	23	18,51	75	27,16
16	154	12,61	77	12,63	24	18,11	77	26,55
17	159	12,27	79	12,29	24	17,76	79	25,94
18	163	11,96	82	11,98	25	17,19	82	25,39
19	168	11,69	84	11,71	26	16,92	84	24,89
20	172	11,42	86	11,42	26	16,44	86	24,38

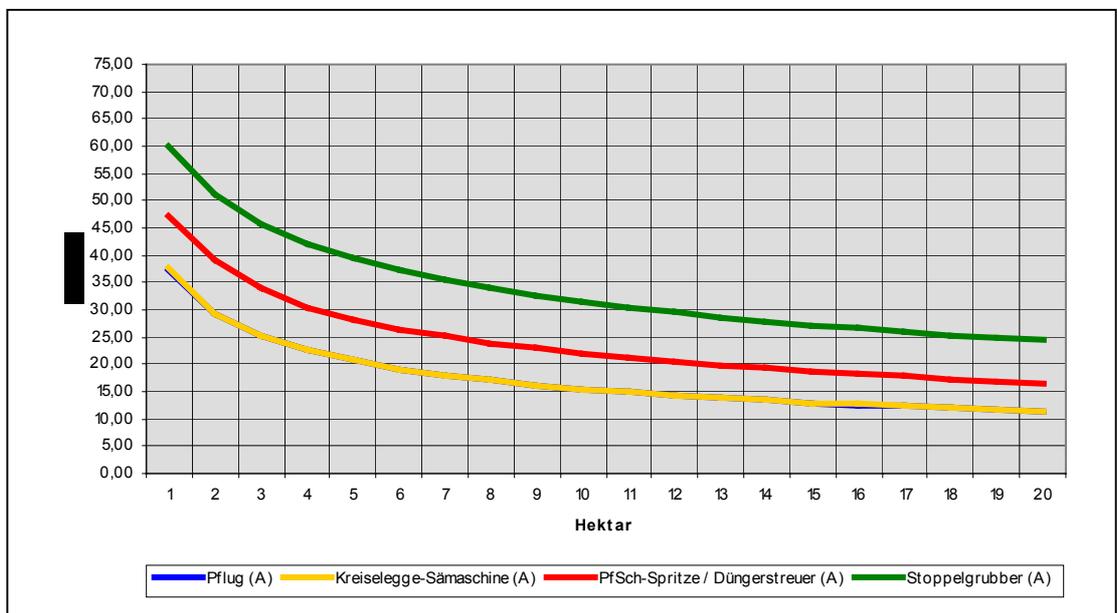
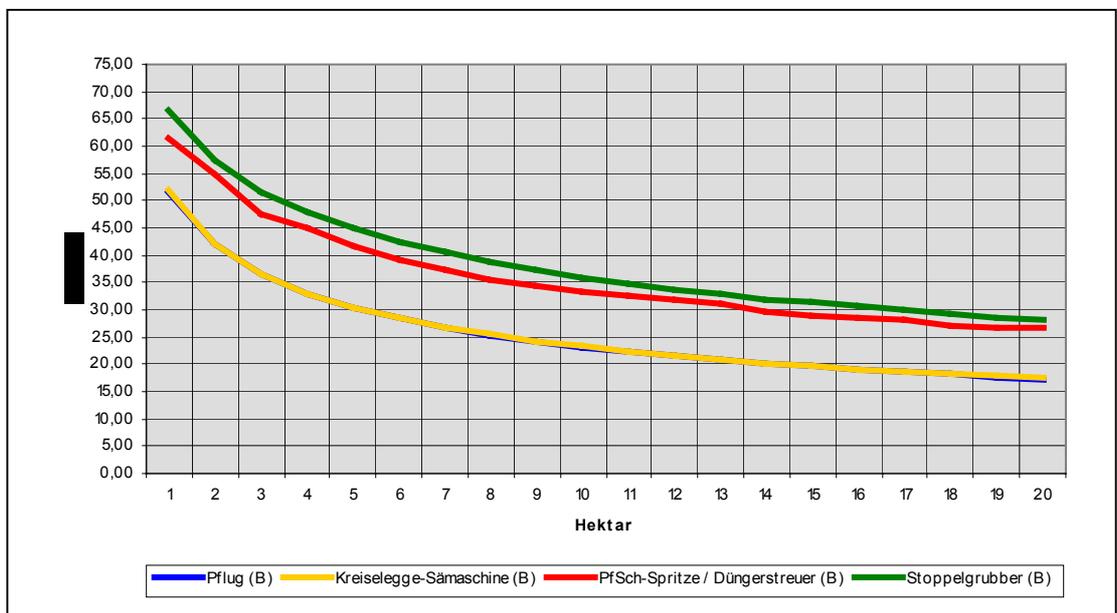


Tabelle 7-8: Wendezeitanteile im gleichschenkligen Dreieck (Mechanisierungsvariation B) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung

Gesamt- Fläche ha	6-Schar Pflug 3 m		Kreiselegge-Sä- maschinen-Kombi. 6 m		PfSch-Spritze / Düngerstreuer 36 m		Stoppelgrubber 6 m	
	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.
1	36	51,68	18	51,99	4	61,42	13	66,62
2	48	41,99	24	42,21	7	54,99	18	57,47
3	58	36,59	29	36,59	8	47,62	21	51,67
4	66	33,04	33	33,04	9	45,16	24	47,79
5	73	30,49	37	30,46	10	41,71	27	44,85
6	79	28,39	40	28,39	11	39,16	29	42,42
7	85	26,74	43	26,84	12	37,20	32	40,54
8	91	25,35	46	25,44	12	35,64	34	38,82
9	96	24,23	48	24,32	13	34,37	36	37,41
10	100	23,16	50	23,24	14	33,32	38	36,03
11	105	22,33	53	22,33	15	32,44	39	34,85
12	109	21,48	55	21,55	15	31,68	41	33,84
13	114	20,82	57	20,89	16	31,03	43	32,95
14	118	20,18	59	20,18	16	29,47	44	32,01
15	122	19,62	61	19,68	17	29,02	46	31,33
16	126	19,07	63	19,12	18	28,62	47	30,57
17	129	18,57	65	18,63	19	28,27	48	29,89
18	133	18,13	67	18,18	19	27,13	50	29,27
19	136	17,73	68	17,77	19	26,88	51	28,71
20	140	17,36	70	17,41	20	26,65	52	28,20



#### 7.2.4 Wendzeitanteile im spitzwinkligen Dreieck

Die Wendezeiten und ihre Anteile an der Gesamtzeit des jeweiligen Arbeitsganges im spitzwinkligen Dreieck sind in den Tabellen 7-9 (Mechanisierungsvariation A) und 7-10 (Mechanisierungsvariation B) dargestellt.

Gegenüber dem gleichschenkligen Dreieck steigen die Wendezeiten im spitzwinkligen Dreieck in der Mechanisierungsvariation A nochmals leicht an. Auch für Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination ergeben sich wieder die gleichen prozentualen Anteile der Wendezeit an der Gesamtzeit des Arbeitsverfahrens, wie für die Mechanisierungsvariation A bereits auch in den anderen Flächenformen. Der im gleichschenkligen Dreieck bereits beobachtete höhere Wert für den Arbeitsgang Pflanzenschutz und Düngung zeigt sich ebenso in der Mechanisierungsvariation A im spitzwinkligen Dreieck.

Anders stellt sich die Situation im spitzwinkligen Dreieck in der Mechanisierungsvariation B dar. Hier sind die Wendezeitanteile des Pfluges und der Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination bei einem Hektar mit jeweils 41,27 % an der Gesamtzeit des Arbeitsganges unterhalb der vergleichbaren Werte des Rechteckes (54,55 % und 45,93 %). Allerdings kommt der positive Effekt der Flächengröße im Rechteck deutlicher zum Tragen. Bei 20 Hektar erreichen Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination einen Wendezeitanteil von je 14,29 %, während im Rechteck die Werte auf 13,93 % (Pflug) und 10,32 % (Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination) absinken.

Andererseits führen die aufwendigen und größeren Wendefiguren der Mechanisierungsvariation B im Bereich Pflanzenschutz und Düngung zu deutlich höheren Wendezeiten gegenüber der gleichen Mechanisierung im Rechteck.

Tabelle 7-9: Wendezeitanteile im spitzwinkligen Dreieck (Mechanisierungsvariation A) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung

Gesamt-Fläche ha	3-Schar Pflug 1,5 m		Kreiselegge-Sä- maschinen-Kombi. 3 m		PfSch-Spritze / Düngerstreuer 15 m		Stoppelgrubber 3 m	
	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.
1	45	40,41	23	40,76	6	48,86	23	63,24
2	64	32,36	32	32,59	8	37,56	32	54,72
3	78	27,98	39	27,98	10	32,60	39	49,28
4	90	25,16	45	25,16	11	29,82	45	45,67
5	100	23,12	50	23,12	13	28,03	50	42,92
6	110	21,50	55	21,50	14	25,66	55	40,64
7	118	20,21	59	20,30	15	24,89	59	38,90
8	126	19,13	63	19,21	16	23,40	63	37,28
9	134	18,27	67	18,34	17	22,19	67	35,96
10	141	17,50	71	17,50	18	21,21	71	34,65
11	148	16,80	74	16,80	19	20,38	74	33,54
12	155	16,20	77	16,20	20	19,67	77	32,58
13	161	15,64	81	15,69	20	19,07	81	31,75
14	167	15,15	83	15,15	21	18,54	83	30,86
15	173	14,72	87	14,77	22	18,08	87	30,22
16	178	14,29	89	14,34	23	17,68	89	29,50
17	184	13,96	92	13,96	23	16,81	92	28,85
18	189	13,62	95	13,62	24	16,51	95	28,27
19	194	13,27	97	13,31	25	16,24	97	27,74
20	199	12,99	100	13,03	25	15,99	100	27,25

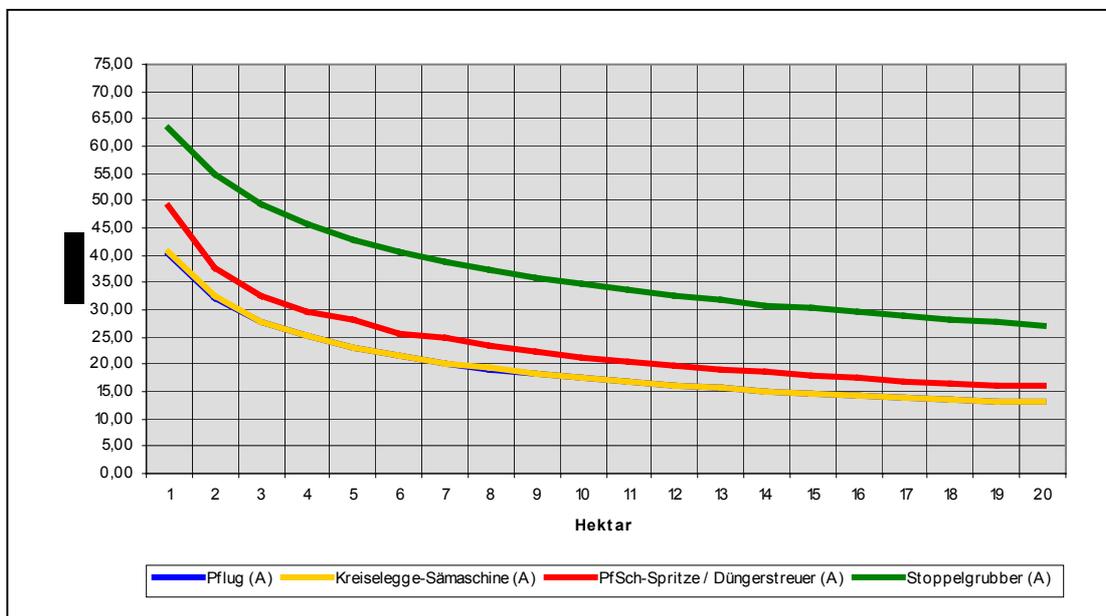
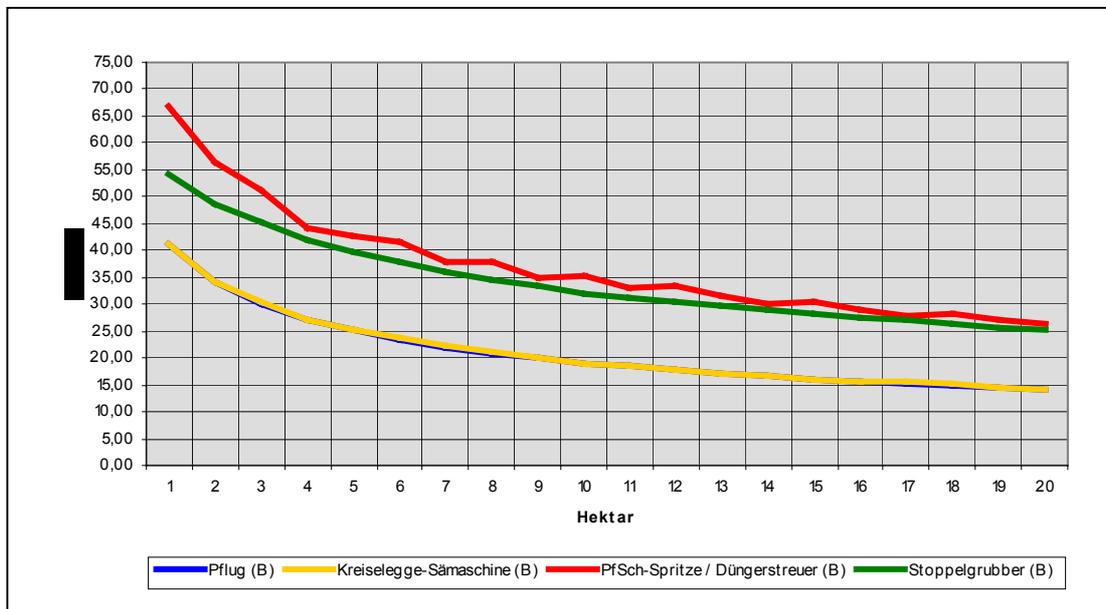


Tabelle 7-10:Wendezeitanteile im spitzwinkligen Dreieck (Mechanisierungsvariation B) in Minuten und in v.H. an der Gesamtzeit des Arbeitsganges mit grafischer Darstellung

Gesamt-Fläche ha	6-Schar Pflug 3 m		Kreiselegge-Sä- maschinen-Kombi. 6 m		PfSch-Spritze / Düngerstreuer 36 m		Stoppelgrubber 6 m	
	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.	Minuten	v.H.
1	26	41,27	13	41,27	6	66,89	10	54,09
2	36	34,09	18	34,09	7	56,40	14	48,62
3	45	30,04	23	30,39	9	51,25	18	45,28
4	51	27,19,	26	27,19	9	44,09	21	41,88
5	57	25,10	29	25,10	10	42,67	23	39,56
6	62	23,41	32	23,62	12	41,68	26	37,86
7	67	21,96	34	22,15	12	37,99	27	36,05
8	71	20,83	36	21,00	13	37,77	29	34,60
9	76	19,92	38	20,08	13	35,04	31	33,43
10	79	19,04	40	19,04	15	35,16	32	32,03
11	84	18,43	42	18,43	15	33,02	34	31,23
12	87	17,79	44	17,92	17	33,29	36	30,54
13	90	17,13	46	17,25	17	31,54	37	29,61
14	94	16,66	47	16,66	17	29,96	38	28,78
15	97	16,15	49	16,15	18	30,41	40	28,04
16	100	15,69	50	15,69	18	29,07	41	27,39
17	104	15,38	52	15,47	18	27,83	43	27,08
18	107	15,01	54	15,09	20	28,35	44	26,54
19	109	14,59	54	14,59	20	27,27	45	25,78
20	112	14,29	56	14,29	20	26,26	46	25,33



Aus der Analyse der Wendezeiten stellt sich die Frage warum in einem spitzwinkligen Dreieck in der Mechanisierungsvariation B der Wendezeitanteil beim Einsatz von Pflug und Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination niedriger ist als im Rechteck. Abbildung 8-1 zeigt am Beispiel von einem Hektar eine deutlich reduzierte notwendige Zahl von Wendungen während der Bearbeitung der Hauptfläche (Fläche ohne Vorgewende) durch eine geringere Höhe des Vorgewendes im spitzwinkligen Dreieck ( $h = 42$  m) gegenüber 71 m im Rechteck. Darüber hinaus erfolgen die Wendevorgänge im Vorgewende der Seite a im rechten Winkel (Wendevorgang Nr. 10) und der Wendevorgang im Vorgewende der Seite c (Wendevorgang 20) hat aufgrund der etwas höheren Vorfahrtgeschwindigkeit des Traktors einen geringeren Zeitbedarf als der Wendevorgang Nr. 10. Diese deutlich eingesparte Wendezeit wird nicht vollständig durch die aufwendigeren Wendevorgänge in den beiden nicht rechten Winkeln kompensiert.

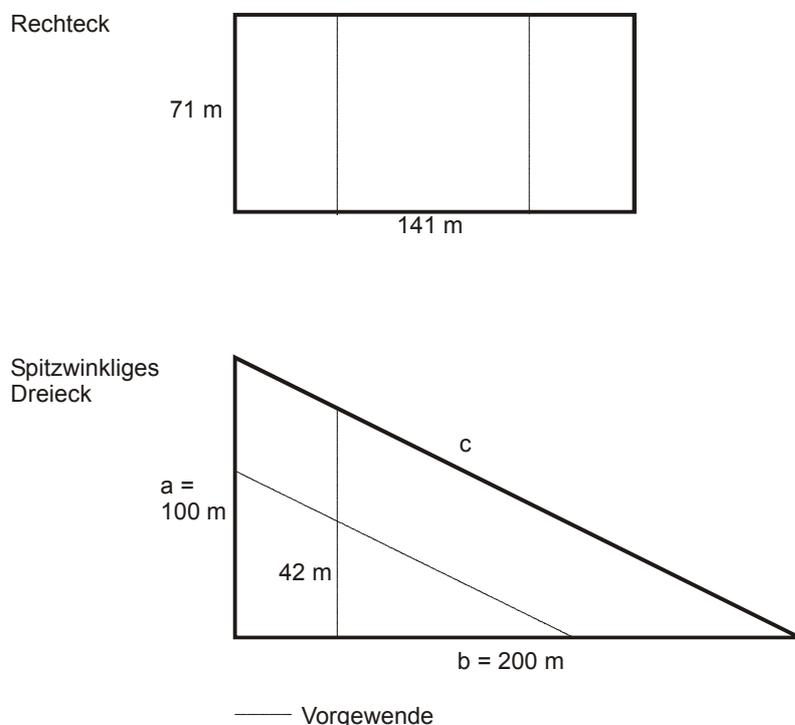


Abbildung 7-2: Vorgewende im Rechteck und spitzwinkligen Dreieck

Tabelle 7-11: Wendezeiten beim Pflügen mit einem 6-Schar-Pflug im Rechteck und spitzwinkligen Dreieck

Gesamt- Fläche	Rechteck			Spitzwinkliges Dreieck		
	Wendezeit			Wendezeit		
ha	Hauptfläche min.	Vorgewende min.	Insges. min.	Hauptfläche min.	Vorgewende min.	Insges. min.
1	25,00	6,40	31,40	10,33	19,66	29,99
5	56,00	6,40	62,40	41,34	19,66	61,00

Tabelle 7-11 stellt die anteiligen Wendezeiten im Rechteck und im spitzwinkligen Dreieck beim Pflügen mit einem 6-Schar-Pflug (Mechanisierungsvariation B) gegenüber. Verdeutlicht werden die positiven Zeiteffekte auf der Hauptfläche und der hohe Wendezeitaufwand im Vorgewende des spitzwinkligen Dreiecks.

### **7.3 Flächenleistungen der Arbeitsgeräte bei unterschiedlichen Flächengrößen und Flächenformen**

Die nachfolgenden Tabellen 7-12 bis 7-20 zeigen die Flächenleistung in ha/h der einzelnen Arbeitsgeräte der Mechanisierungsvariationen A, B und C nach Flächengröße und Flächenform.

Gemäß der grafischen Auswertung der Tabellen folgen alle Leistungsdaten mit zunehmender Flächengröße einer Potenzfunktion. Dabei ist für die Mechanisierungsvariation A eine deutliche Steigung bis 5 Hektar bei allen eingesetzten Arbeitsgeräten zu verzeichnen, um dann tendenziell mit einer abnehmenden Steigung bis 20 Hektar nahezu eben auszulaufen. Für die Mechanisierungsvariation B und C besteht insgesamt bis 20 Hektar eine größere Steigung der Leistungsdaten, wobei die höhere Steigung der Flächenleistung ebenfalls deutlich in den Bereich bis 5 Hektar liegt.

Diese Entwicklung der Flächenleistung auf einer Skala von 1 bis 20 Hektar zeigt auf allen ausgewerteten Flächenformen für alle Mechanisierungsvariationen erhebliche Leistungssteigerungen mit zunehmender Flächengröße bis ca. 5 Hektar. Wobei beim Pflanzenschutz und der Düngung in den Dreiecken eine höhere Leistungssteigerung mit steigender Flächengröße erzielt wird.

Tabelle: 7-12: Flächenleistung eines Stoppelgrubbers (3 m) der Mechanisierungsvariation A nach Flächengröße und Flächenform mit grafischer Darstellung

Fläche	Rechteck	Quadrat	Gleichschenkliges Dreieck	Spitzwinkliges Dreieck
ha	ha/h	ha/h	ha/h	ha/h
1	2,05	1,74	1,79	1,65
2	2,51	2,17	2,20	2,04
3	2,77	2,43	2,44	2,28
4	2,93	2,60	2,60	2,44
5	3,06	2,73	2,72	2,57
6	3,15	2,84	2,82	2,67
7	3,23	2,92	2,91	2,75
8	3,30	3,00	2,97	2,82
9	3,35	3,06	3,03	2,88
10	3,40	3,11	3,08	2,94
11	3,44	3,16	3,13	2,99
12	3,48	3,20	3,17	3,03
13	3,52	3,24	3,21	3,07
14	3,54	3,27	3,25	3,11
15	3,57	3,31	3,28	3,14
16	3,60	3,34	3,31	3,17
17	3,62	3,36	3,33	3,20
18	3,64	3,39	3,36	3,23
19	3,66	3,41	3,38	3,25
20	3,68	3,43	3,40	3,27

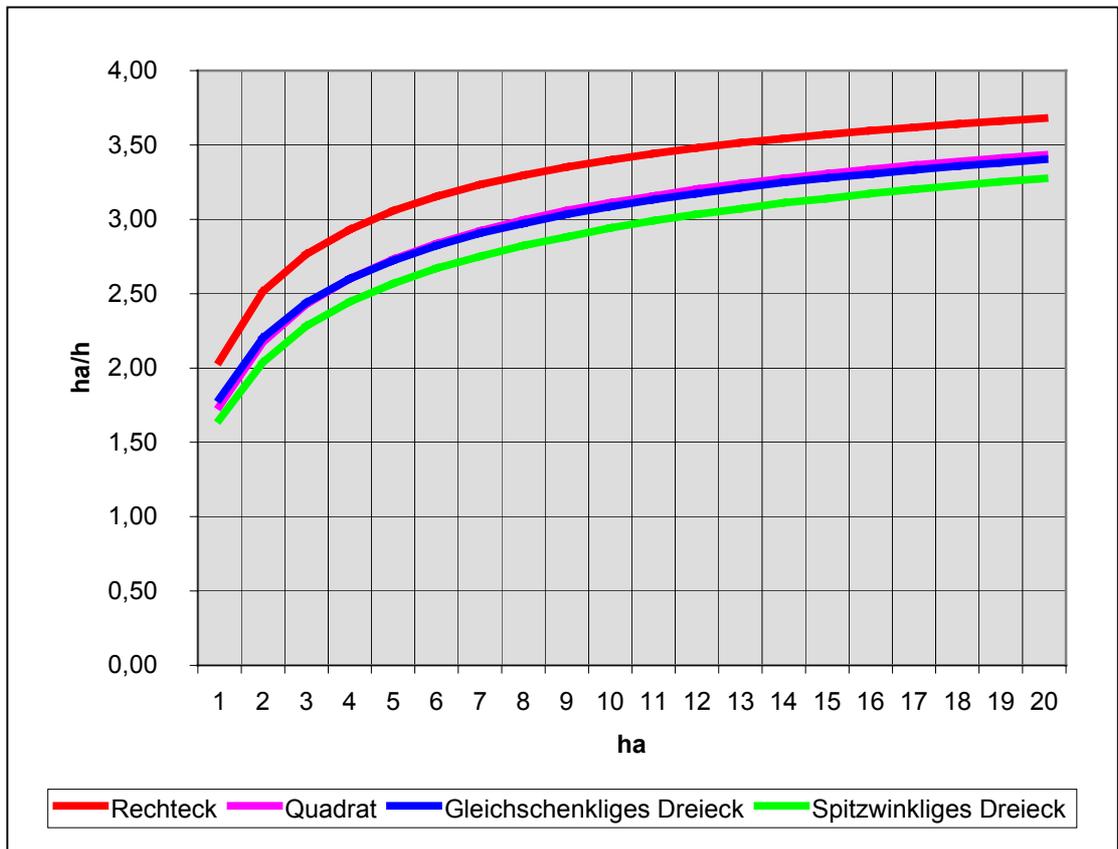


Tabelle: 7-13: Flächenleistung eines Pfluges (1,50 m) der Mechanisierungsvariation A nach Flächengröße und Flächenform mit grafischer Darstellung

Fläche	Rechteck	Quadrat	Gleichschenkliges Dreieck	Spitzwinkliges Dreieck
ha	ha/h	ha/h	ha/h	ha/h
1	0,61	0,55	0,56	0,54
2	0,68	0,63	0,64	0,61
3	0,72	0,67	0,67	0,65
4	0,74	0,70	0,70	0,67
5	0,76	0,72	0,71	0,69
6	0,77	0,73	0,73	0,71
7	0,78	0,74	0,74	0,72
8	0,79	0,75	0,75	0,73
9	0,79	0,76	0,75	0,74
10	0,80	0,76	0,76	0,74
11	0,80	0,77	0,77	0,75
12	0,81	0,77	0,77	0,75
13	0,81	0,78	0,78	0,76
14	0,81	0,78	0,78	0,76
15	0,82	0,79	0,78	0,77
16	0,82	0,79	0,79	0,77
17	0,82	0,79	0,79	0,77
18	0,82	0,80	0,79	0,78
19	0,82	0,80	0,79	0,78
20	0,83	0,80	0,80	0,78

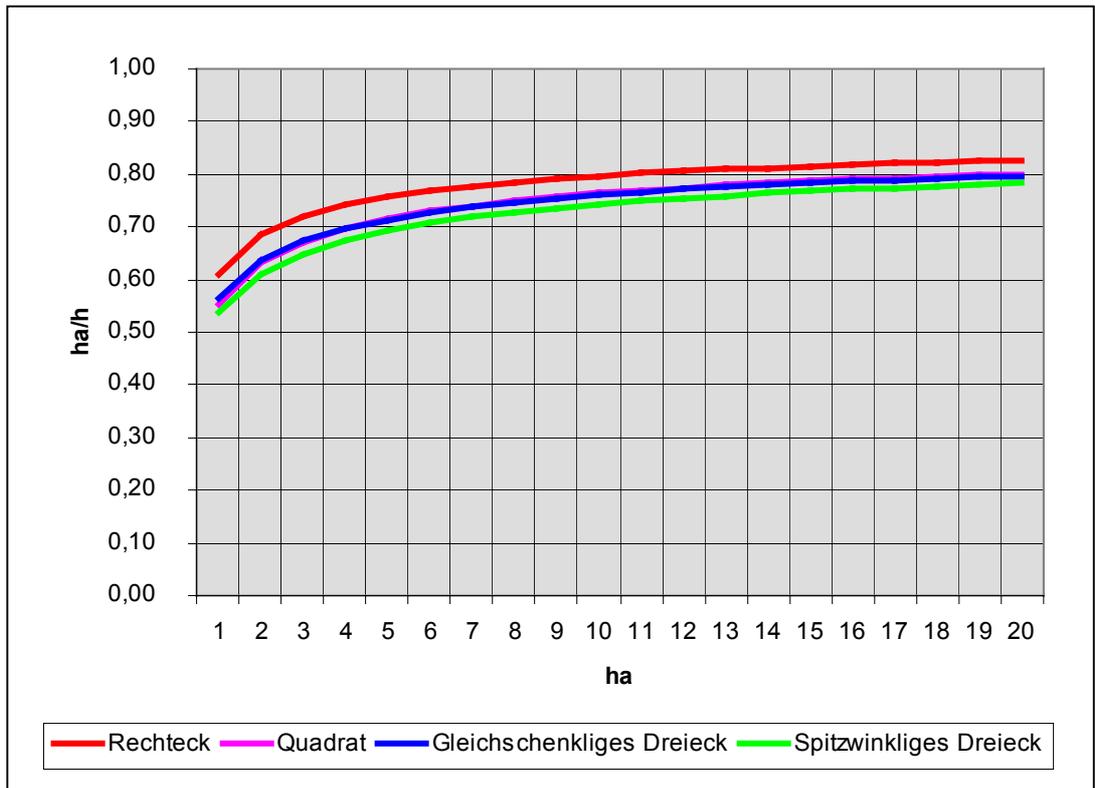


Tabelle: 7-14: Flächenleistung einer Kreiselegge-Sämaschinenkombi. (3 m) der Mechanisierungsvariation A nach Flächen-größe und Flächenform mit grafischer Darstellung

Fläche	Rechteck	Quadrat	Gleichschenkliges Dreieck	Spitzwinkliges Dreieck
ha	ha/h	ha/h	ha/h	ha/h
1	1,22	1,10	1,12	1,07
2	1,37	1,26	1,27	1,21
3	1,44	1,34	1,35	1,30
4	1,48	1,39	1,39	1,35
5	1,51	1,43	1,43	1,38
6	1,54	1,46	1,45	1,41
7	1,56	1,48	1,48	1,43
8	1,57	1,50	1,49	1,45
9	1,58	1,51	1,51	1,47
10	1,59	1,53	1,52	1,49
11	1,60	1,54	1,53	1,50
12	1,61	1,55	1,54	1,51
13	1,62	1,56	1,55	1,52
14	1,62	1,57	1,56	1,53
15	1,63	1,57	1,57	1,53
16	1,64	1,58	1,57	1,54
17	1,64	1,59	1,58	1,55
18	1,65	1,59	1,58	1,55
19	1,65	1,60	1,59	1,56
20	1,65	1,60	1,59	1,57

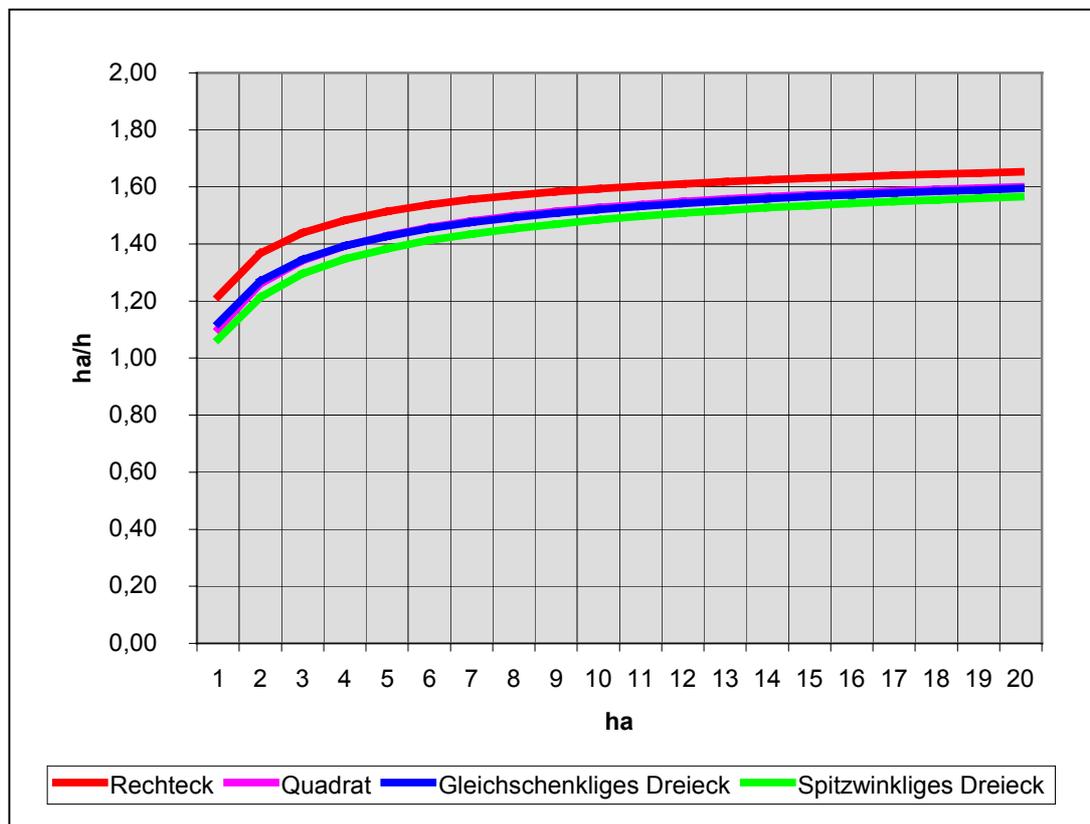


Tabelle: 7-15: Flächenleistung von Pflanzenschutzspritze und Düngestreuer (15 m) der Mechanisierungsvariation A nach Flächengröße und Flächenform mit graf. Darstellung

Fläche	Rechteck	Quadrat	Gleichschenkliges Dreieck	Spitzwinkliges Dreieck
ha	ha/h	ha/h	ha/h	ha/h
1	6,34	5,69	4,77	4,60
2	6,97	6,46	5,48	5,62
3	7,29	6,77	5,93	6,07
4	7,52	7,04	6,26	6,32
5	7,62	7,22	6,48	6,48
6	7,73	7,34	6,63	6,69
7	7,85	7,43	6,74	6,76
8	7,90	7,53	6,87	6,89
9	7,95	7,61	6,94	7,00
10	8,01	7,65	7,03	7,09
11	8,04	7,71	7,10	7,17
12	8,09	7,75	7,16	7,23
13	8,13	7,80	7,22	7,28
14	8,14	7,85	7,27	7,33
15	8,17	7,88	7,33	7,37
16	8,20	7,91	7,37	7,41
17	8,23	7,95	7,40	7,49
18	8,25	7,97	7,45	7,51
19	8,25	7,98	7,48	7,54
20	8,27	8,02	7,52	7,56

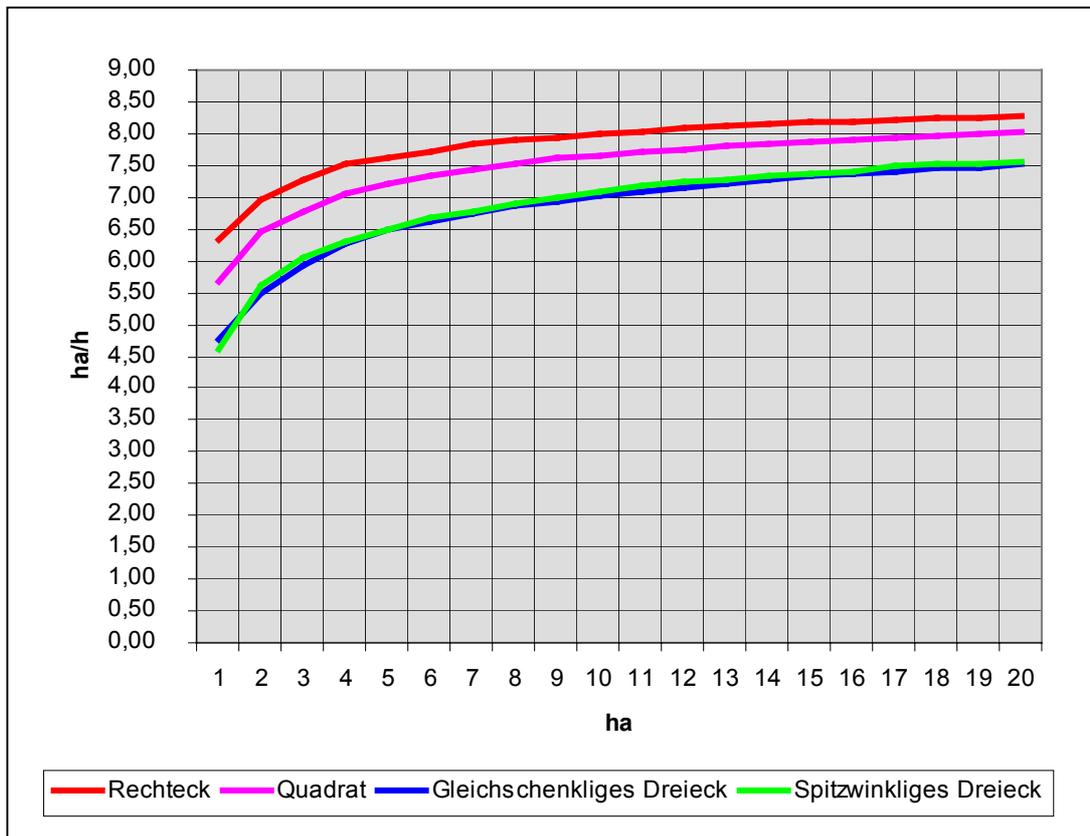


Tabelle: 7-16: Flächenleistung eines Stoppelgrubbers (6 m) der Mechanisierungsvariation B nach Flächengröße und Flächenform mit grafischer Darstellung

Fläche	Rechteck	Quadrat	Gleichschenkliges Dreieck	Spitzwinkliges Dreieck
ha	ha/h	ha/h	ha/h	ha/h
1	2,88	2,52	3,00	3,20
2	3,94	3,47	3,83	4,04
3	4,59	4,07	4,35	4,49
4	5,01	4,49	4,70	4,88
5	5,35	4,80	4,96	5,14
6	5,61	5,05	5,18	5,34
7	5,81	5,25	5,35	5,53
8	5,99	5,43	5,51	5,68
9	6,13	5,59	5,63	5,80
10	6,26	5,71	5,76	5,95
11	6,36	5,83	5,86	6,03
12	6,47	5,94	5,95	6,10
13	6,56	6,03	6,03	6,20
14	6,63	6,12	6,12	6,28
15	6,71	6,19	6,18	6,35
16	6,77	6,26	6,25	6,42
17	6,83	6,33	6,31	6,45
18	6,90	6,39	6,37	6,51
19	6,95	6,45	6,42	6,58
20	6,99	6,50	6,46	6,62

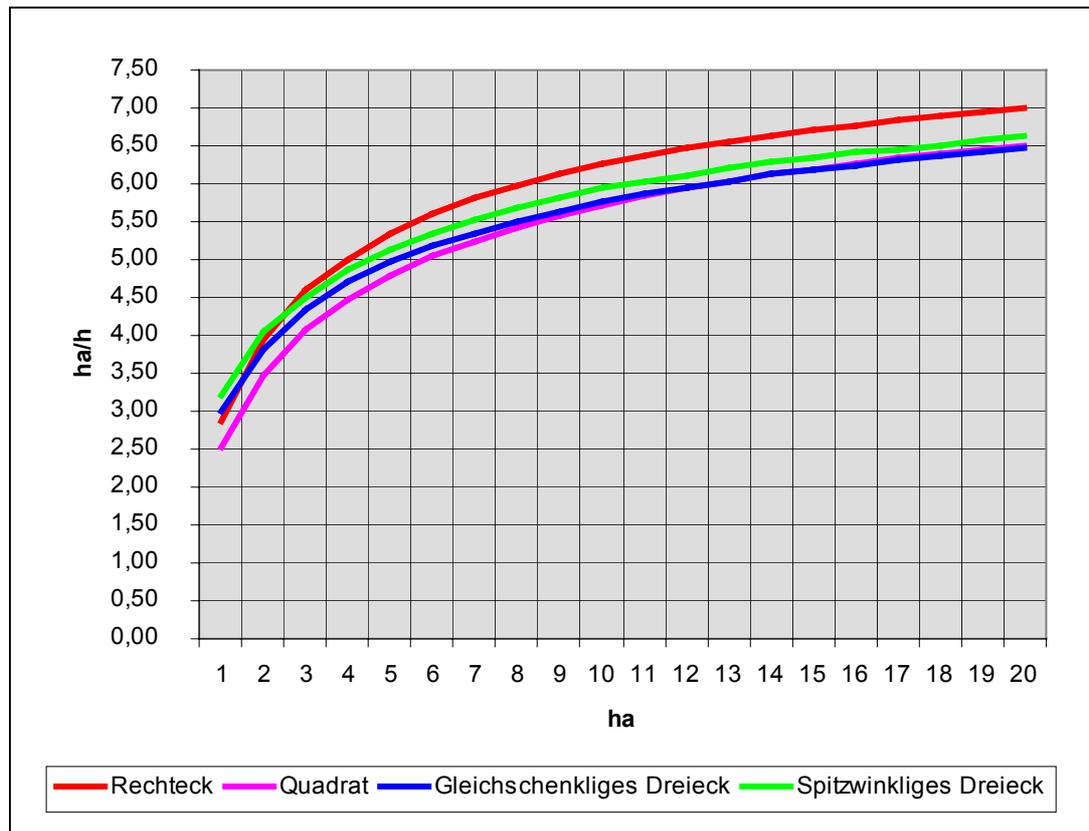


Tabelle: 7-17: Flächenleistung eines Pfluges (3 m) der Mechanisierungsvariation B nach Flächengröße und Flächenform mit grafischer Darstellung

Fläche	Rechteck	Quadrat	Gleichschenkliges Dreieck	Spitzwinkliges Dreieck
ha	ha/h	ha/h	ha/h	ha/h
1	0,82	0,74	0,87	0,95
2	1,05	0,95	1,04	1,12
3	1,17	1,07	1,14	1,21
4	1,24	1,15	1,21	1,27
5	1,30	1,20	1,25	1,32
6	1,34	1,25	1,29	1,35
7	1,38	1,28	1,32	1,38
8	1,40	1,31	1,34	1,40
9	1,42	1,34	1,36	1,42
10	1,44	1,36	1,38	1,44
11	1,46	1,38	1,40	1,45
12	1,47	1,39	1,41	1,47
13	1,49	1,41	1,43	1,48
14	1,50	1,42	1,44	1,49
15	1,51	1,43	1,45	1,50
16	1,52	1,44	1,46	1,51
17	1,53	1,45	1,47	1,51
18	1,54	1,46	1,47	1,52
19	1,54	1,47	1,48	1,53
20	1,55	1,48	1,49	1,53

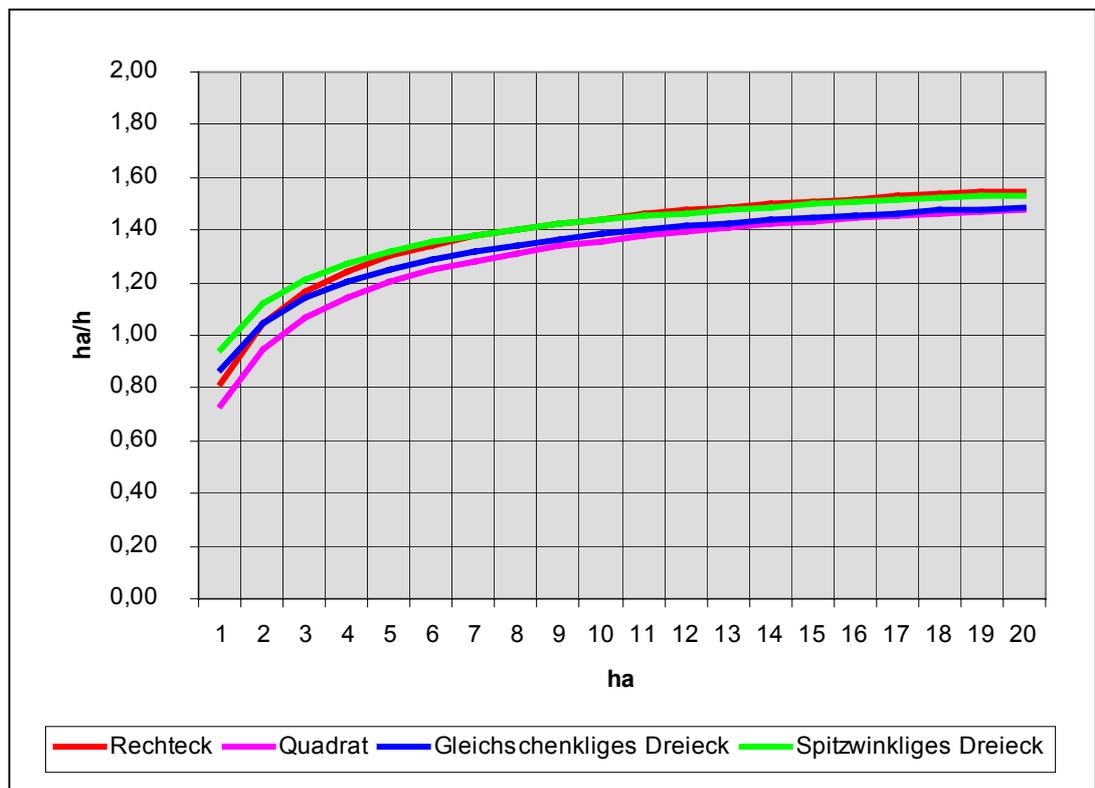


Tabelle: 7-18: Flächenleistung einer Kreiselegge-SämaschinenKombi. (6 m) der Mechanisierungsvariation B nach Flächen-größe und Flächenform mit grafischer Darstellung

Fläche	Rechteck	Quadrat	Gleichschenkliges Dreieck	Spitzwinkliges Dreieck
ha	ha/h	ha/h	ha/h	ha/h
1	1,95	1,78	1,73	1,89
2	2,38	2,20	2,08	2,24
3	2,60	2,43	2,28	2,41
4	2,73	2,57	2,41	2,55
5	2,83	2,67	2,50	2,64
6	2,90	2,74	2,58	2,70
7	2,95	2,80	2,63	2,76
8	3,00	2,85	2,68	2,80
9	3,03	2,89	2,72	2,84
10	3,06	2,93	2,76	2,88
11	3,09	2,96	2,80	2,91
12	3,11	2,98	2,82	2,93
13	3,13	3,01	2,85	2,95
14	3,15	3,03	2,87	2,98
15	3,17	3,05	2,89	3,00
16	3,18	3,06	2,91	3,01
17	3,19	3,08	2,93	3,02
18	3,21	3,09	2,95	3,04
19	3,22	3,11	2,96	3,06
20	3,23	3,12	2,97	3,07

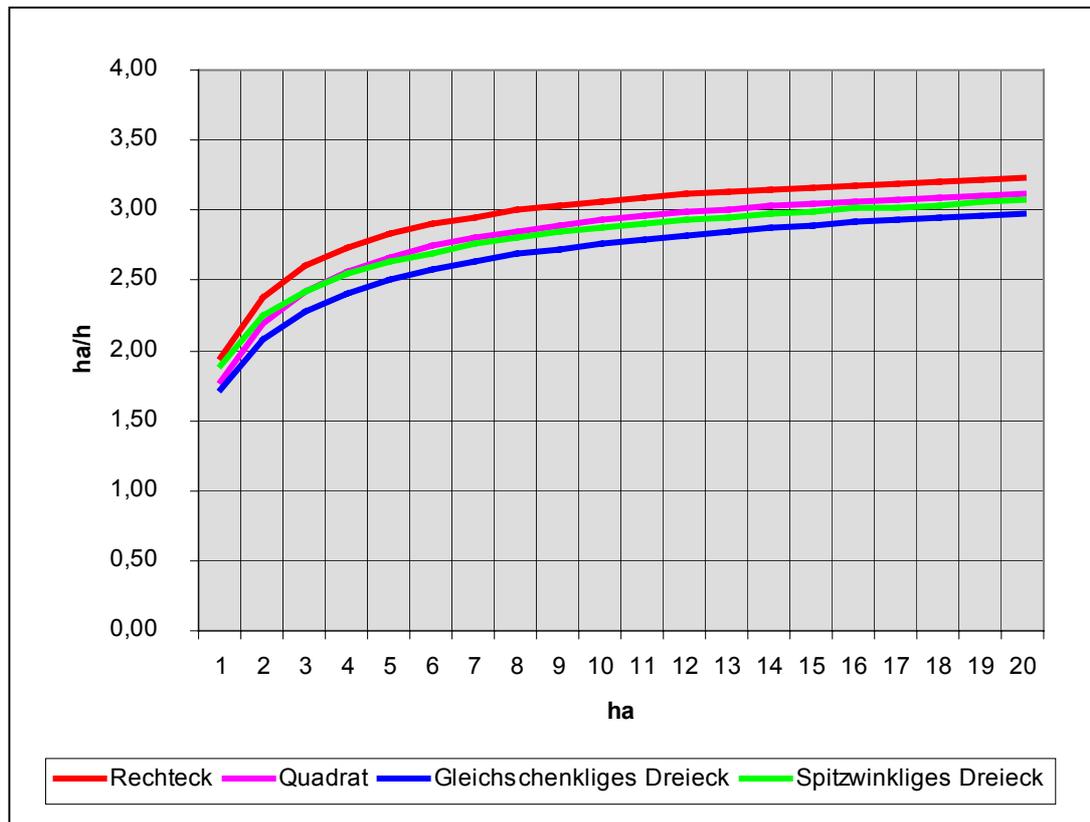


Tabelle: 7-19: Flächenleistung von Pflanzenschutzspritze und Düngestreuer (36 m) der Mechanisierungsvariation B nach Flächengröße und Flächenform mit graf. Darstellung

Fläche	Rechteck	Quadrat	Gleichschenkliges Dreieck	Spitzwinkliges Dreieck
ha	ha/h	ha/h	ha/h	ha/h
1	-	10,52	8,33	7,15
2	14,15	12,55	9,72	9,42
3	15,26	13,41	11,31	10,53
4	15,88	13,89	11,84	12,08
5	16,27	14,57	12,59	12,38
6	16,55	15,06	13,14	12,60
7	16,75	15,42	13,57	13,39
8	16,91	15,71	13,90	13,44
9	17,33	15,95	14,18	14,03
10	17,40	16,14	14,40	14,01
11	17,46	16,30	14,59	14,47
12	17,74	16,43	14,76	14,41
13	17,77	16,55	14,90	14,79
14	18,00	16,83	15,24	15,13
15	18,00	16,91	15,33	15,03
16	18,19	16,98	15,42	15,32
17	18,19	17,19	15,49	15,59
18	18,35	17,24	15,74	15,48
19	18,33	17,28	15,79	15,71
20	18,47	17,46	15,84	15,93

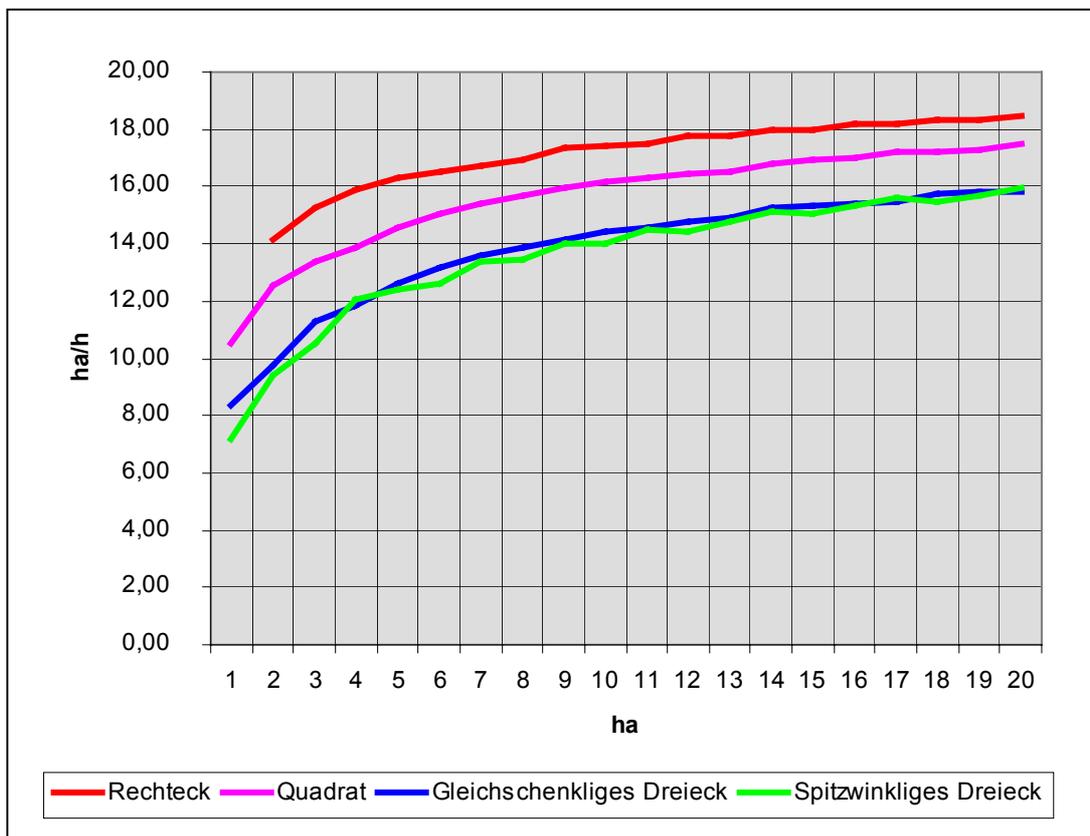
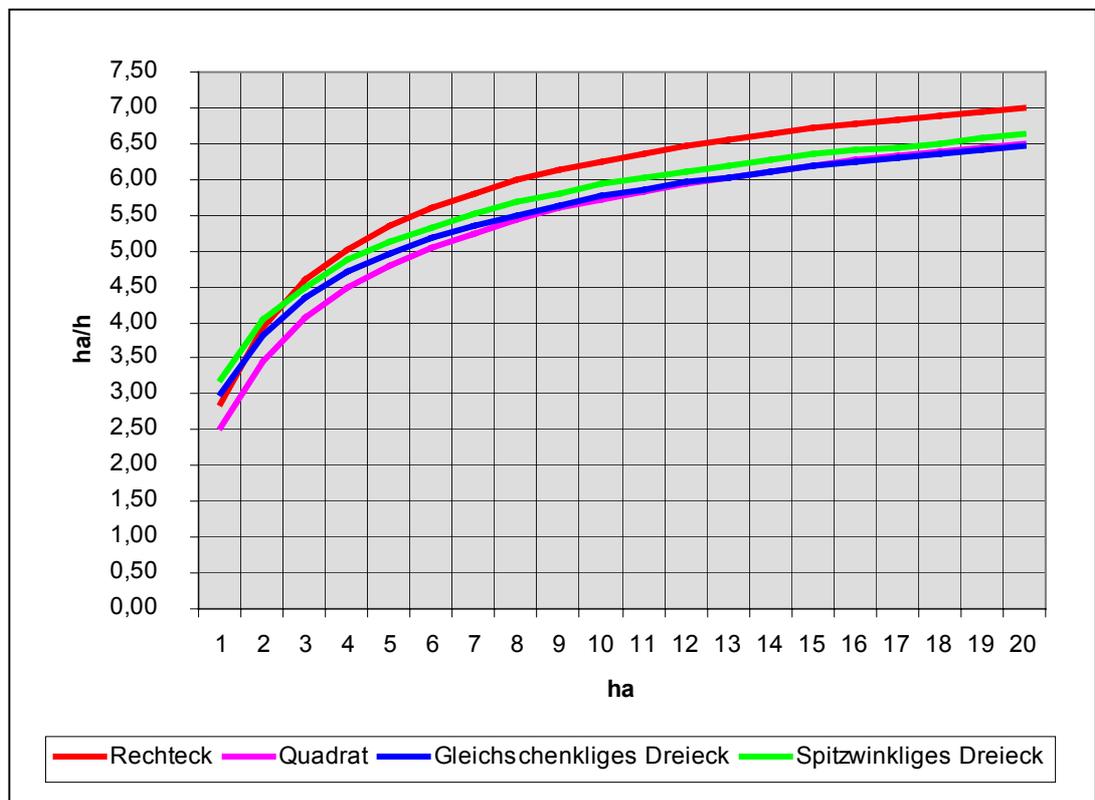


Tabelle: 7-20: Flächenleistung einer Direktsaatmaschine (6 m) der Mechanisierungsvariation C nach Flächengröße und Flächenform mit grafischer Darstellung

Fläche	Rechteck	Quadrat	Gleichschenkliges Dreieck	Spitzwinkliges Dreieck
ha	ha/h	ha/h	ha/h	ha/h
1	2,88	2,52	3,00	3,20
2	3,94	3,47	3,83	4,04
3	4,59	4,07	4,35	4,49
4	5,01	4,49	4,70	4,88
5	5,35	4,80	4,96	5,14
6	5,61	5,05	5,18	5,34
7	5,81	5,25	5,35	5,53
8	5,99	5,43	5,51	5,68
9	6,13	5,59	5,63	5,80
10	6,26	5,71	5,76	5,95
11	6,36	5,83	5,86	6,03
12	6,47	5,94	5,95	6,10
13	6,56	6,03	6,03	6,20
14	6,63	6,12	6,12	6,28
15	6,71	6,19	6,18	6,35
16	6,77	6,26	6,25	6,42
17	6,83	6,33	6,31	6,45
18	6,90	6,39	6,37	6,51
19	6,95	6,45	6,42	6,58
20	6,99	6,50	6,46	6,62



In der Mechanisierungsvariation hebt sich das Rechteck mit der höchsten Flächenleistung von den anderen Flächenformen deutlich ab. Eine Ausnahme bildet die Mechanisierungsvariation B im spitzwinkligen Dreieck beim Stoppelgrubbern bis 2 Hektar und beim Pflügen bis 5 Hektar mit leicht höheren Werten als im Rechteck.

In der Mechanisierungsvariation A ist beim Stoppelgrubber, dem Pflug und der Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination in den Flächenformen Quadrat und gleichschenkliges Dreieck eine deutliche Übereinstimmung der Flächenleistung auffällig. Auch in der Mechanisierungsvariation B ist diese Näherung bei dem Stoppelgrubber und der Pflug zu erkennen, wobei hier die Leistungswerte des Quadrates im Bereich bis 7 Hektar sogar noch unter denen des gleichschenkligen Dreiecks liegen. Nur in den Verfahren Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer zeigen die Leistungsdaten in der Flächenform des Quadrates deutlich höhere Werte als in den Dreiecken.

Auch hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Direktsaatmaschine (Mechanisierungsvariation C) wegen gleicher Arbeitsbreite und Vorfahrtsgeschwindigkeit vergleichbare Leistungswerte wie der Stoppelgrubber in der Mechanisierungsvariation B aufweist. Beide Arbeitsgeräte haben im Vergleich zu den anderen Geräten, eine etwas niedrigere Steigung ihrer Leistungswerte im Bereich bis 5 Hektar und noch eine deutlich höhere Steigung bis 20 Hektar. Für diese Maschinen mit einer höheren Arbeitsgeschwindigkeit von 15 km/h wirken sich die zeitaufwendigen Wendevorgänge wesentlich schlechter auf das Ergebnis der Gesamtarbeitszeit aus, als bei Maschinen mit einer Vorfahrt von 6 km/h.

## **8 Ökonomische Bewertung der Arbeitserledigung**

### **8.1 Teilkostenrechnung**

Gemäß der Auswahl der Methodik (Kapitel 3.2.3.3) werden die Arbeitserledigungskosten zur ökonomischen Bewertung der Unterschiede von Flächenform und Flächengröße herangezogen. In der Entwicklung des Arbeitsmodells wurden bereits erforderliche Einschränkungen der zu betrachtenden Arbeitsinhalte auf die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale getroffen. Dem Arbeitsmodell folgend werden die Arbeitserledigungskosten ebenso auf die wesentlichen, d.h. der Unterscheidung dienenden Kosten reduziert. Daraus folgt, dass ausschließlich die Arbeitserledigungskosten der Grundzeit für Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandspflege am Beispiel des Produktionsverfahrens Getreidebau betrachtet werden. In der Grundzeit sind ausdrücklich nicht enthalten die Zeiten für Nachladen von Ausbringmengen, das An- und Umhängen, Störungen sowie Rüst- und Wegezeiten. D.h. die im Arbeitsmodell (Kapitel 7) entwickelten Planzeiten in Akmin/ha bzw. Akh/ha sind Grundlage für die ökonomische Bewertung.

### **8.2 Kostenmatrix der Arbeitserledigungskosten**

Zur Ermittlung der beschriebenen Arbeitserledigungskosten wird eine Kostenmatrix definiert, die vergleichbare Werte für die Mechanisierungsvariation A, B und C auf allen Flächengrößen und Flächenformen mit der Kennzahl Akh/ha und €/ha liefert. Für die Mechanisierungsvariation A, B und C zeigen die Tabelle 8-1 bis 8-3 den jeweiligen Aufbau der Kostenmatrix.

Tabelle 8-1: Kostenmatrix der Arbeitserledigungskosten der Grundzeit in der Mechanisierungsvariation A für Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandspflege im Getreideanbau

Z/Sp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Arbeitsgang/Arbeitsbreite		Traktor		Arbeitszeitbedarf		Kosten							
2			Leistung	Treibst.			Traktor		Treibstoff		Arbeitsgerät		Arbeit	Summe
3	Beschreibung	m	kW	l/h	Akmin/ha	Akh/ha	€/h	€/ha	€/h	€/ha	€/h	€/ha	€/ha	€/ha
4	Stoppelgrubber	3	66	12		0,00	13,00	0,00	9,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00
5	Pflug	1,5	66	12		0,00	13,00	0,00	9,00	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00
6	Kreiselegge-Sämasch.-Kombination	3	66	12		0,00	13,00	0,00	9,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00
7	Düngerstreuer	15	66	8		0,00	13,00	0,00	6,00	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00
8	Düngerstreuer	15	66	8		0,00	13,00	0,00	6,00	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00
9	Düngerstreuer	15	66	8		0,00	13,00	0,00	6,00	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00
10	Pflanzenschutzspritze	15	66	8		0,00	13,00	0,00	6,00	0,00	14,00	0,00	0,00	0,00
11	Pflanzenschutzspritze	15	66	8		0,00	13,00	0,00	6,00	0,00	14,00	0,00	0,00	0,00
12	Pflanzenschutzspritze	15	66	8		0,00	13,00	0,00	6,00	0,00	14,00	0,00	0,00	0,00
13	Pflanzenschutzspritze	15	66	8		0,00	13,00	0,00	6,00	0,00	14,00	0,00	0,00	0,00
14	Summe					0,00								0,00

Treibstoff: 0,75 €/l; Arbeit 18,00 €/AKh

Tabelle 8-2: Kostenmatrix Arbeitserledigungskosten der Grundzeit in der Mechanisierungsvariation B für Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandspflege im Getreideanbau

Z/Sp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Arbeitsgang/Arbeitsbreite		Traktor		Arbeitszeitbedarf		Kosten							
2			Leistung	Treibst.			Traktor		Treibstoff		Arbeitsgerät		Arbeit	Summe
3	Beschreibung	m	kW	l/h	Akmin/ha	Akh/ha	€/h	€/ha	€/h	€/ha	€/h	€/ha	€/ha	€/ha
4	Stoppelgrubber	6	175	32		0,00	28,00	0,00	24,00	0,00	41,00	0,00	0,00	0,00
5	Pflug	3	175	32		0,00	28,00	0,00	24,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00
6	Kreiselegge-Sämasch.-Kombination	3	175	32		0,00	28,00	0,00	24,00	0,00	44,00	0,00	0,00	0,00
7	Düngerstreuer	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	27,00	0,00	0,00	0,00
8	Düngerstreuer	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	27,00	0,00	0,00	0,00
9	Düngerstreuer	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	27,00	0,00	0,00	0,00
10	Pflanzenschutzspritze	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	34,00	0,00	0,00	0,00
11	Pflanzenschutzspritze	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	34,00	0,00	0,00	0,00
12	Pflanzenschutzspritze	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	34,00	0,00	0,00	0,00
13	Pflanzenschutzspritze	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	34,00	0,00	0,00	0,00
14	Summe					0,00								0,00

Treibstoff: 0,75 €/l; Arbeit 18,00 €/AKh

Tabelle 8-3: Kostenmatrix der Arbeitserledigungskosten der Grundzeit in der Mechanisierungsvariation C für Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandspflege im Getreideanbau

Z/Sp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Arbeitsgang/Arbeitsbreite		Traktor		Arbeitszeitbedarf		Kosten							
2			Leistung	Treibst.			Traktor		Treibstoff		Arbeitsgerät		Arbeit	Summe
3	Beschreibung	m	kW	l/h	Akmin/ha	Akh/ha	€/h	€/ha	€/h	€/ha	€/h	€/ha	€/ha	€/ha
4	Stoppelgrubber	6	175	32		0,00	28,00	0,00	24,00	0,00	60,00	0,00	0,00	0,00
5	Direktsaatmaschine	3	175	32		0,00	28,00	0,00	24,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00
7	Düngerstreuer	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	27,00	0,00	0,00	0,00
8	Düngerstreuer	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	27,00	0,00	0,00	0,00
9	Düngerstreuer	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	27,00	0,00	0,00	0,00
10	Pflanzenschutzspritze	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	34,00	0,00	0,00	0,00
11	Pflanzenschutzspritze	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	34,00	0,00	0,00	0,00
12	Pflanzenschutzspritze	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	34,00	0,00	0,00	0,00
13	Pflanzenschutzspritze	36	175	21		0,00	28,00	0,00	15,75	0,00	34,00	0,00	0,00	0,00
14	Summe					0,00								0,00

Treibstoff: 0,75 €/l; Arbeit 18,00 €/AKh

In dieser Kostenmatrix werden durch Einsetzen (Z.4 bis 13/Sp.5) der Planzeiten [AKmin] aus dem Ergebnis des Arbeitsmodells für jede Flächengröße und Flächenform der Arbeitszeitbedarf in AKh/ha (Z.14/Sp.6) und die definierten Arbeitserledigungskosten in €/ha (Z.14/Sp.14) errechnet.

Aus VERRECHNUNGSSÄTZE FÜR ÜBERBETRIEBLICHE MASCHINENVERWENDUNG (LAK 2002/03) und dem TASCHENBUCH LANDWIRTSCHAFT (KTBL 2002/03) werden

- Treibstoffbedarf in l/h
- Kosten für den Traktor in €/h
- Kosten für das Arbeitsgerät in €/h

entnommen und in die Kostenmatrix jeweils für die Mechanisierungsvariation A, B und C eingefügt. Durch Eintragen des Arbeitszeitbedarfs [Akmin/ha] errechnet die Matrix:

Arbeitszeitbedarf (Z.4-13/Sp.6)	$AKh / ha = \frac{AK \text{ min} / ha}{60}$
Traktor (Z.4-13/Sp.8)	$€ / ha = \text{Traktor} [€ / h] \times AKh / ha$
Treibstoff (Z.4-13/Sp.9)	$€ / h = \text{Treibstoff} [l / h] \times 0,75€ / l$
Treibstoff (Z.4-13/Sp.10)	$€ / ha = \text{Treibstoff} [€ / h] \times AKh / ha$
Arbeitsgerät (Z.4-13/Sp.12)	$€ / ha = \text{Arbeitsgerät} [€ / h] \times AKh / ha$
Arbeit (Z.4-13/Sp.13)	$€ / ha = AKh / ha \times 18€ / h$

Die Kosten in €/ha für Traktor, Treibstoff, Arbeitsgerät und Arbeit werden für jeden Arbeitsgang in Spalte 14 addiert und in Zeile 14 summiert.

### 8.2.1 Arbeitserledigungskosten der Mechanisierungsvariationen

Unter Auswertung der Kostenmatrix werden in Tabelle 8-4 die zusammengefassten Kosten der Arbeitserledigung in Euro pro Hektar für die Grundzeit dargestellt.

Wegen der Ähnlichkeit der Leistungswerte von Quadrat und gleichschenkligen Dreieck wurde in diesem Kapitel darauf verzichtet für das Quadrat zusätzlich die Arbeitserledigungskosten zu ermitteln.

Auf Grund der bereits diskutierten fehlenden Möglichkeit eine 36 m Pflanzenschutzspritze unter den Annahmen des Arbeitsmodells auf einer rechteckigen Parzellen von einem Hektar einzusetzen fehlen in den Tabellen 9-4 und 9-5 die entsprechenden Werte.

Zur vergleichenden Übersicht werden die Werte aus Tabelle 8-4 für den Bereich ein bis fünf Hektar in Abbildung 8-1 nochmals in einer Liniengrafik dargestellt. Die Grafik verdeutlicht die erhöhten Kosten zur Bewirtschaftung von Flächen mit einer dreieckigen Struktur, wobei die höchsten Kosten in der Maschinenvariation B auf der Fläche des gleichschenkligen Dreiecks bei einem Hektar mit 289 € anfallen.

Die Mechanisierungsvariation A, B und C verursachen jeweils die niedrigsten Bewirtschaftungskosten auf den rechteckigen Flächen. Auf diesen wiederum ist die Variation B bis vier Hektar die kostenintensivere Bewirtschaftung. Die „größere“ Maschinenausstattung der Variation B kann erst über fünf Hektar seine Vorteile gegenüber der Variation A ausspielen.

Tabelle 8-4: Arbeitserledigungskosten in €/ha der Grundzeit für die Mechanisierungsvariation A, B und C

	Mechanisierungsvariation A			Mechanisierungsvariation B			Mechanisierungsvariation C		
	Rechteck	Gleichschenkl. Dreieck	Spitzwinkl. Dreieck	Rechteck	Gleichschenkl. Dreieck	Spitzwinkl. Dreieck	Rechteck	Gleichschenkl. Dreieck	Spitzwinkl. Dreieck
ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha
1	217	251	260	-	289	285	-	158	166
2	192	219	222	212	241	231	107	130	129
3	182	204	206	191	215	211	95	113	115
4	176	195	198	180	204	195	89	106	103
5	173	190	195	173	195	189	85	100	99
10	163	176	179	157	174	170	76	87	87
15	160	170	172	151	165	161	72	81	81
20	157	166	168	147	160	156	70	78	77

Variation A: Stoppelgrubber 3 m, Pflug 1,50 m, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination 3 m, Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer 15 m.

Variation B: Stoppelgrubber 6 m, Pflug 3,00 m, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination 6 m, Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer 36 m.

Variation C: Stoppelgrubber 6 m, Direktsaatmaschine 6 m, Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer 15 m.

Kosten Arbeit: 18 €/AKh

Quelle der Traktoren- und Gerätekosten: LAK 2002/03; KTBL 2002/03

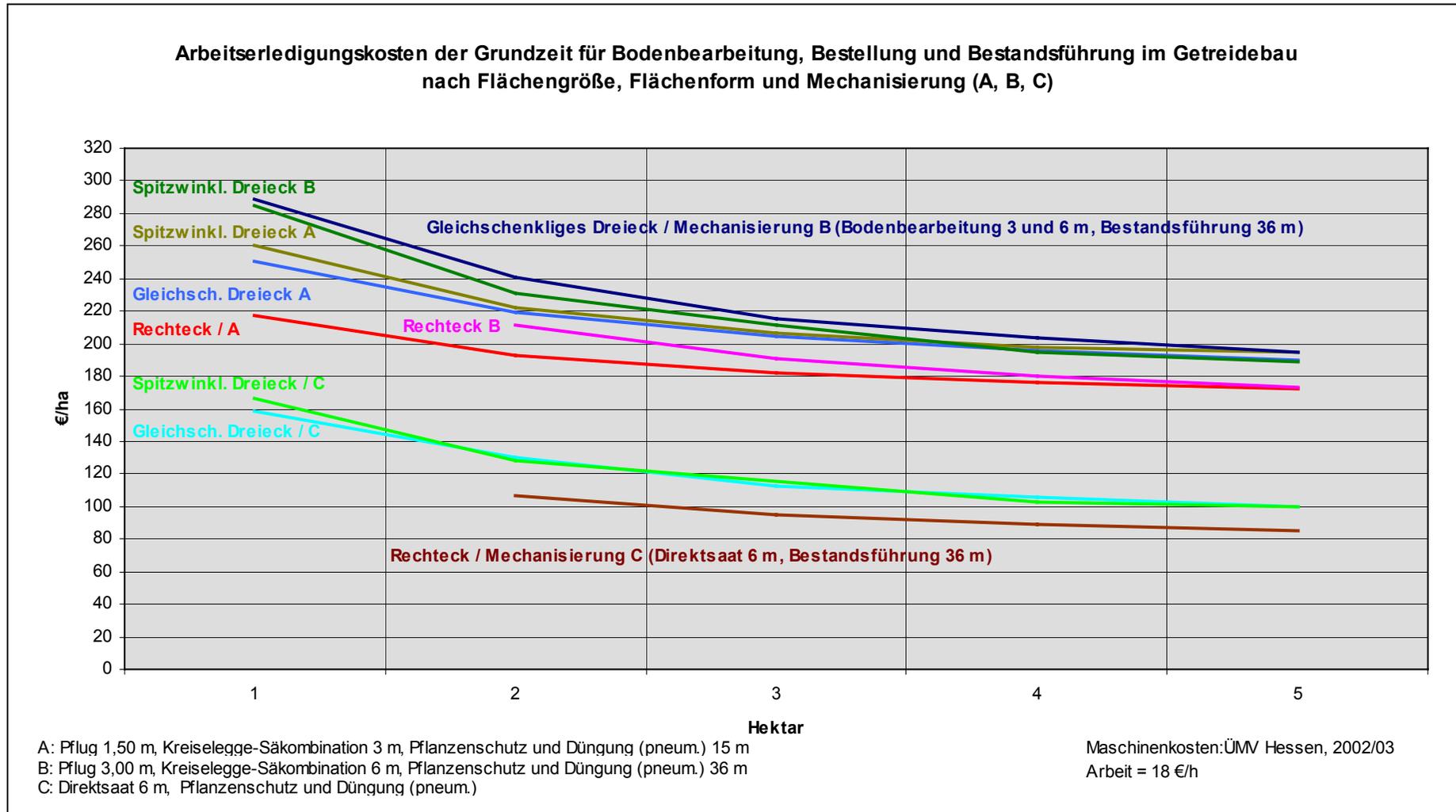


Abbildung: 8-1: Arbeitserledigungskosten im Getreidebau nach Flächengröße und Flächenform

Die Mechanisierungsvariation C, mit Verzicht auf den Pflug und den Einsatz einer Direktsaatmaschine, ermöglicht Kostenvorteile gegenüber den Variationen mit Pflug. Während im gleichschenkligen und spitzwinkligen Dreieck der Kostenverlauf ähnlich ist, zeigt die Direktsaat auf rechteckiger Fläche die geringsten Arbeitserledigungskosten mit 77 €/ha.

Bedingt durch Flächengröße und Flächenform zeigt sich demzufolge in der Mechanisierungsvariation A ein Kostenunterschied von 103 €/ha, in der Variation B von 143 €/ha und in der Variation C von 96 €/ha.

### 8.2.2 Arbeitszeitaufwand der Mechanisierungsvariationen

Aus der Kostenmatrix für Arbeitserledigungskosten folgt in Zeile 6 / Spalte 14 die Summe des Arbeitszeitbedarfs in AKh/ha. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 8-5 zusammengefasst.

Der Arbeitszeitbedarf der Grundzeit für Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandsführung auf unterschiedlichen Flächengrößen und Flächenformen kann deutlich in der Reihenfolge zwischen höchsten und niedrigsten Wert gegenüber den Arbeitserledigungskosten unterschieden werden. Der höchste Arbeitszeitaufwand besteht in der Mechanisierungsvariation A, gefolgt im deutlichen Abstand von der Variation B und erwartungsgemäß mit dem geringsten Arbeitszeitaufwand von der Variation C.

Innerhalb der Flächenformen zeigt das spitzwinklige Dreieck in der Maschinenvariation A den höchsten Verbrauch an Arbeitszeit mit 4,93 AKh/ha bei einer Flächengröße von einem Hektar. Maschinenvariation B und C weisen jeweils ähnliche Arbeitszeitwerte für die gleichschenkligen und spitzwinkligen Dreiecke auf. In allen drei Mechanisierungsvariationen (A,B,C) besteht auf den rechteckigen Flächen ein deutlich geringerer

Tabelle 8-5: Arbeitszeitaufwand in AKh/ha in der Grundzeit für die Mechanisierungsvariation A, B und C

	Mechanisierungsvariation A			Mechanisierungsvariation B			Mechanisierungsvariation C		
	Rechteck	Gleichschenkl. Dreieck	Spitzwinkl. Dreieck	Rechteck	Gleichschenkl. Dreieck	Spitzwinkl. Dreieck	Rechteck	Gleichschenkl. Dreieck	Spitzwinkl. Dreieck
ha	AKh/ha	AKh/ha	AKh/ha	AKh/ha	AKh/ha	AKh/ha	AKh/ha	AKh/ha	AKh/ha
1	4,05	4,69	4,93	-	2,90	2,87	-	1,51	1,60
2	3,60	4,09	4,20	2,12	2,42	2,33	1,00	1,24	1,24
3	3,41	3,82	3,91	1,92	2,16	2,13	0,89	1,08	1,11
4	3,29	3,66	3,74	1,81	2,05	1,96	0,84	1,02	0,99
5	3,23	3,55	3,64	1,74	1,96	1,90	0,80	0,96	0,95
10	3,05	3,29	3,35	1,58	1,75	1,71	0,72	0,83	0,84
15	2,98	3,17	3,22	1,52	1,66	1,62	0,69	0,78	0,78
20	2,93	3,11	3,15	1,48	1,61	1,57	0,67	0,75	0,74

Variation A: Stoppelgrubber 3 m, Pflug 1,50 m, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination 3 m, Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer 15 m.

Variation B: Stoppelgrubber 6 m, Pflug 3,00 m, Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination 6 m, Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer 36 m.

Variation C: Stoppelgrubber 6 m, Direktsaatmaschine 6 m, Pflanzenschutzspritze und Düngerstreuer 15 m.

Arbeitszeitbedarf, wobei mit 0,67 AKh/ha die Mechanisierungsvariation C auf einer rechteckigen, 20 Hektar großen Fläche den niedrigsten Wert aufweist.

## 9 Diskussion

Für die nachfolgende Diskussion wird, wie auch in den vorhergehenden Kapiteln, auf die Bezeichnung A, B und C für die unterschiedlichen Mechanisierungsvariationen zurück gegriffen, die in Tabelle 9-1 zur besseren Übersicht nochmals zusammen gefasst werden.

Tabelle 9-1: Übersicht der Maschinenvariationen A, B und C

<b>Mechanisierungsvariation A</b> <b>Traktor, 66 kW, Allrad</b>		<b>Arbeitsbreite</b> <b>m</b>	<b>Vorfahrt</b> <b>km/h</b>
Stoppelgrubber	angebaut	3,00	15
3-Schar Pflug	angebaut	1,50	6
Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination	angebaut	3,00	6
Pflanzenschutzspritze	angebaut	15,00	6
Mineraldüngerstreuer (pneumatisch)	angebaut	15,00	6
<b>Mechanisierungsvariation B</b> <b>Traktor, 175 kW, Allrad</b>			
Stoppelgrubber	aufgesattelt	6,00	15
6-Schar Pflug	aufgesattelt	3,00	6
Kreiselegge-Sämaschinen-Kombination	aufgesattelt	6,00	6
Pflanzenschutzspritze	aufgesattelt	36,00	6
Mineraldüngerstreuer (pneumatisch)	aufgesattelt	36,00	6
<b>Mechanisierungsvariation C</b> <b>Traktor 175 kW, Allrad</b>			
Stoppelgrubber	aufgesattelt	6,00	15
Direktsaatmaschine	aufgesattelt	6,00	12
Pflanzenschutzspritze	aufgesattelt	36,00	6
Mineraldüngerstreuer (pneumatisch)	aufgesattelt	36,00	6

## 9.1 Vorgewende

Die Vorgewendefläche ist abhängig von der Arbeitsbreite der eingesetzten Maschinen. Für die vorliegenden Mechanisierungsvariationen im Arbeitsmodell wurden Vorgewendebreiten von 9 m für Variante A und 36 m für die Varianten B und C gewählt.

Folge des breiteren Vorgewendes ist, wie in Kapitel 8 dargestellt, ein prozentual höherer Anteil von Vorgewendefläche an der Gesamtfläche. Die Annahme eines um 30 % verminderten Ertrages auf der Vorgewendefläche (JANINHOFF, 2000a) führt daher zu deutlichen Ertragsminderungen auf Flächen mit breiteren Vorgewenden. Abbildung 9-1 verdeutlicht diese hohen prozentualen Ertragsverluste von z.B. 24,77 % auf einer 1-Hektar-Fläche in Form eines spitzwinkligen Dreiecks mit einem Vorgewende von 36 m.

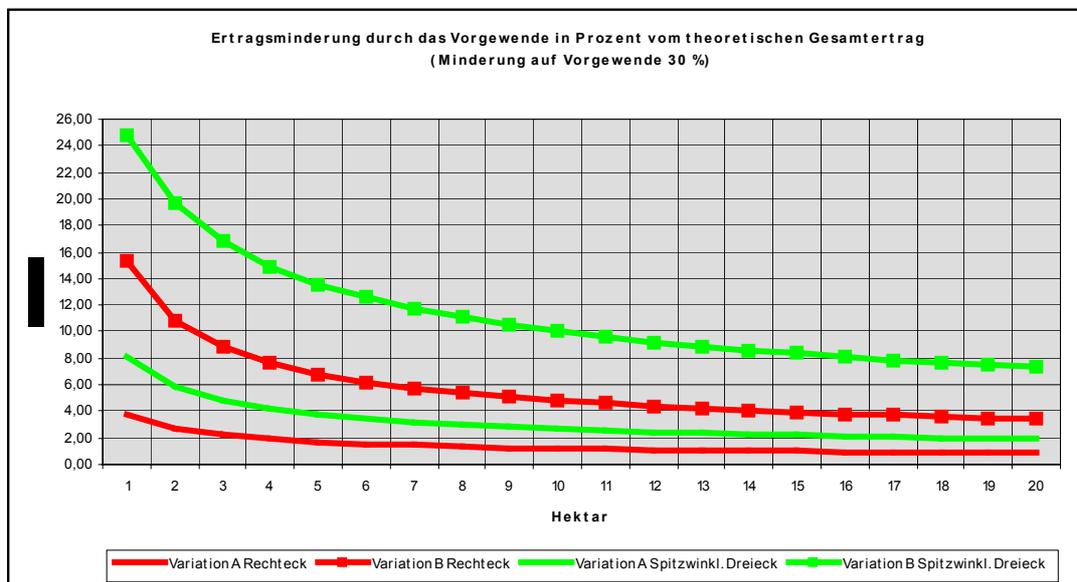


Abbildung 9-1: Ertragsminderung durch das Vorgewende in Prozent vom theoretischen Gesamtertrag

Abbildung 9-1 zeigt auch die prozentuale Ertragsminderung gegenüber einem theoretischen Gesamtertrag für die beiden Flächenformen Rechteck und spitzwinkliges Dreieck, die jeweils den best und worst case doku-

mentieren. Der theoretische Gesamtertrag ist als Vergleichswert der mögliche Ertrag einer landwirtschaftlichen Nutzfläche unter der Annahme, dass kein Vorgewende besteht und die Gesamtfläche den gleichen Ertrag aufweist. Die Werte für das Quadrat und das gleichschenklige Dreieck bewegen sich entsprechend zwischen den dargestellten Werten. Deutliche Degressionseffekte in den Ertragsminderungen zeigen sich bei Arbeitsverfahren mit einem Vorgewende von 9 m (Variation A) auf Flächen bis 10 Hektar. Während auf Flächen mit einem Vorgewende von 36 m (Variation B) diese Effekte noch bei 15 bis 20 Hektar erkennbar sind und sich tendenziell den Werten der Variation A annähern.

Für die beispielhaft genannte ein Hektar große spitzwinklige Fläche mit 24,77 % Ertragsminderung durch das Vorgewende bedeutet dieser unvorteilhafte Flächenzuschnitt bei einem Ertrag von z.B. 80 dt/ha und einem Marktwert von 12 €/dt eine Umsatzeinbuße von 238 €/ha. Wird die selbe Fläche mit einem Vorgewende von 9 m bearbeitet entstehen Ertragseinbußen von nur 8,10 % bzw. 78 €/ha.

Dieses Beispiel verdeutlicht im Zusammenhang mit Abbildung 9-1, dass zur Minderung negativer Vorgewendeeffekte, insbesondere bei kleinen nicht rechteckigen Flächen im Bereich bis 2 Hektar, eine Mechanisierungsvariation mit geringer Vorgewendebreite sinnvoll sein kann, wenn die daraus resultierenden Arbeitserledigungskosten nicht über dem zu erwartenden Einsparungseffekt liegen. Andererseits kann der technische Fortschritt über größere Arbeitsbreiten nicht genutzt werden, wodurch ein typischer, aber wenig diskutierter Strukturnachteil deutlich wird.

## 9.2 Wendevorgänge

Mit der Entwicklung eines Arbeitsmodells in Kapitel 5 wird die Notwendigkeit der Beschreibung von Wendevorgängen für unterschiedliche Maschinen mit unterschiedlichen Vorfahrtgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Flächenformen definiert. In Kapitel 6 wurden diese Wendevorgänge analysiert und in einer Arbeitszeitstudie gemessen, um aus einzelnen Wendevorgängen Planzeitelemente zu erstellen. Die im Arbeitsmodell gewonnenen Ergebnisse zu Wendezeitanteilen an der Gesamtzeit von Arbeitsvorgängen im Getreidebau (Tabellen 7-3 bis 7-10) zeigen sowohl deutliche Unterschiede von Wendezeitanteilen zwischen den Arbeitsgängen der Bodenbearbeitung, Aussaat und Bestandsführung, wie auch der Flächengröße und den Flächenformen.

Die besondere Notwendigkeit Wendezeiten zu analysieren zeigt das Ergebnis mit Wendezeitanteilen zwischen 30 und 70 Prozent bei 1-Hektar-Flächen mit deutlichen Degressionseffekten bei Flächenvergrößerung auf 20 Hektar in Bereiche von 5 bis 30 Prozent. Neben der Flächenform und Mechanisierungsvariation treten auch erhebliche Differenzen in den Wendezeitanteilen nach unterschiedlichen Arbeitsverfahren auf. Verallgemeinert kann gesagt werden:

- 1.) Mechanisierungsvariationen mit einer größeren Arbeitsbreite haben im Bereich der Bodenbearbeitung prozentual höhere Wendezeitanteile, während Aussaat und Bestandspflege ähnliche Werte aufweisen.
- 2.) Quadratische Flächen haben ähnlich hohe Wendezeitanteile wie gleichschenklige Dreiecke.
- 3.) Flächen in der Form von spitzwinkligen Dreiecken weisen leicht höhere Wendezeitanteile auf als gleichschenklige Dreiecke

4.) Die Bestandsführung mit 36 m Arbeitsbreite führt auf Flächen mit den Formen gleichschenkliges und spitzwinkliges Dreieck zu besonders hohen Wendezeitanteilen.

Neben der Zeitbelastung für aufwendige Wendemanöver mit Pflanzenschutzspritzen und pneumatischen Düngerstreuern auf Schlägen mit dreieckigen Grundformen, kann ein besonderes Problem in der Arbeitsausführung gemäß einer „ordnungsgemäßen Landwirtschaft“ und der „guten fachlichen Praxis“ gesehen werden. Trotz aufwendiger exakt ausgeführter Wendevorgänge ist auch mit Teilbreitenabschaltung nach dem bisherigen Stand der Technik eine gewisse Überlappung unumgänglich.

### **9.3 Flächenleistung**

Gemäß den Ergebnissen aus Kapitel 7.3 besteht für die Mechanisierungsvariation A ein steiler Anstieg in der Flächenleistung bis 5 Hektar und ebenso in der Mechanisierungsvariation B und C bis 10 Hektar.

Die Auswertung zeigt auch deutlich, dass Arbeitsmaschinen mit einer schnelleren Vorfahrtgeschwindigkeit, z.B. Stoppelgrubber und Direktsaatmaschine mit jeweils 15 km/h, in allen Mechanisierungsvariationen noch bis 20 Hektar deutliche Degressionseffekte in der Flächenleistung zeigen, während Arbeitsgeräte mit einer Vorfahrtgeschwindigkeit von 6 km/h bereits bei 5 bis 10 Hektar die wesentlichsten Einspareffekte in der Flächenleistung aufweisen. Dieser Effekt steht in enger Verbindung zu den jeweils zugehörigen Wendevorgängen der Arbeitsverfahren. Denn für Arbeitsgeräte mit höherer Vorfahrtgeschwindigkeit führen die Wendevorgänge zu einer prozentual höheren Zeitbelastung in die Arbeitserledigung.

Aus den in Kapitel 7-3 genannten Leistungsdaten folgt die Erkenntnis von deutlichen Leistungseinbußen auf den Flächen mit Dreiecksformen. Ebenso

zeigen Flächen in Form eines Quadrates im Bereich der Bodenbearbeitung und der Aussaat etwa gleiche Werte wie bei einem gleichschenkligen Dreieck und nur bei der Bestandsführung nähert sich die Flächenleistung eher dem Rechteck mit dem Seitenverhältnis 1 : 2 an.

Da das Ausbringen von Pflanzenschutzmittel i.d.R. als besonders zeitkritisch angesehen wird, muss der höhere Arbeitszeitaufwand in Flächen mit Dreiecksform als besonders problematisch angesehen werden. Pflanzenschutzspritzen mit 15 m Arbeitsbreite haben auf einem 1-Hektar-Schlag in der Form eines spitzwinkligen Dreieckes einen Arbeitszeitaufwand von 13,04 min/ha und damit 3,58 Minuten mehr als auf einem rechtwinkligen Schlag gleicher Größe. Bezogen auf eine Stunde Arbeitszeit bedeutet dieser Unterschied von wenigen Minuten eine Leistung von 6,34 ha/h auf rechteckiger Fläche gegenüber von nur 4,60 ha/h auf einem spitzwinkligen Dreieck. Noch deutlicher fällt der Vergleich für eine Pflanzenschutzspritze mit 36 m Arbeitsbreite aus. Auf einem 2-Hektar-Schlag mit rechteckiger Form erreicht diese eine Leistung von 14,15 ha/h gegenüber nur 9,42 ha/h auf dem gleichen Schlag in spitzwinkliger Form. Bei 6 AKh in der Hauptzeit bedeutet dies ein Tagesminderleistung von 28 Hektar allein durch ungünstige Flächenkonfiguration.

#### **9.4 Arbeitserledigungskosten**

Die in Kapitel 8 dargestellten Arbeitserledigungskosten beziehen sich ausschließlich auf die Grundzeit der Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandspflege im Getreidebau. Nebenzeiten für Nachladen von Ausbringmengen, das An- und Umhängen, Störungen sowie Rüst- und Wegezeiten belieben bei den Arbeitserledigungskosten ausgenommen, um allein den Einfluss der Fläche zu betrachten.

In allen betrachteten Mechanisierungsvariationen werden jeweils auf den rechteckigen Flächen die niedrigsten Arbeitserledigungskosten verursacht. Maschinenvariation C mit einer Direktsaatmaschine (6 m) ist hierbei auf einem 5-Hektar-Schlag mit 85 €/ha klarer Favorit. Im Vergleich der Mechanisierungsvariationen mit Pflug (Variation A und B) zeigen ebenfalls die rechteckigen Flächen mit 173 €/ha auf einem 5-Hektar-Schlag deutliche Kostenvorteile gegenüber den dreieckigen Flächen.

Im Bereich der Flächengrößen von 1 bis 4 Hektar bestehen für die Mechanisierungsvariation A Kostenvorteile in der Arbeitserledigung gegenüber der Variation B. Dies ist auf deutlich höhere Maschinenkosten der Mechanisierungsvariation B zurückzuführen, die erst ab Flächen von 5 Hektar, sowohl in rechteckigen wie auch in dreieckigen Flächen, zu Vorteilen in den Arbeitserledigungskosten führen. Dieses Ergebnis einer Minimalkostenkombination setzt sich zusammen aus dem höheren Anschaffungspreis größerer Maschinen und Geräte und dem zugehörigen höheren Kraftstoffverbrauch – die Werte schlagen sich nieder in den Verrechnungssätzen der Überbetrieblichen Maschinenverwendung – wie auch der Bewertung der Arbeit mit 18 €/AKh. Bei steigenden Kosten für Arbeit würde sich das Ergebnis zugunsten von größeren Maschinen auf Schläge unter 5 Hektar verschieben.

Allein durch die Flächenform eines 1-Hektar-Schlages ist ein Einsparvolumen der Arbeitserledigungskosten in der Mechanisierungsvariation A von 43 €/ha bei einem Rechteck gegenüber einem spitzwinkligen Dreieck möglich. Über die Erhöhung der Flächengröße von einem auf 20 Hektar können im Rechteck die Arbeitserledigungskosten der Mechanisierungsvariation A um 60 €/ha gesenkt werden. Die Einsparpotentiale sind in der Mechanisierungsvariation B ähnlich, allerdings unter Beachtung, dass aus den geschilderten Gründen, diese Form der Mechanisierung auf 1-Hektar-Schlägen nicht sinnvoll zum Einsatz kommen kann.

In Bezug auf die Arbeitserledigungskosten bayerischer Marktfruchtbetriebe (STARK, 2003) mit Arbeiterledigungskosten von insgesamt 805 €/ha inkl. aller Nebenarbeiten, bedeuten diese Ergebnisse ein beachtliches Einsparvolumen, allein in den Arbeitserledigungskosten, durch die Gestaltung von rechteckigen und größeren Schlägen im Bereich bis 20 Hektar von 5 bis 8 %. Folgt man den Arbeitserledigungskosten von JANINHOFF (2000b) im Getreidebau mit 520 €/ha auf 1-Hektar-Parzellen (ohne Angabe von Flächenform) erreichen die Einsparungsmöglichkeiten durch günstigere Flächenformen und –größen 8 bis 12 %.

Soweit auf einem Standort eine Direktsaatmaschine (Variation C, Arbeitsbreite 6 m) eingesetzt werden kann, sinken die Arbeitserledigungskosten im Rechteck auf 70 €/ha, was ein Einsparvolumen von 147 € gegenüber der Pflugvariante (Variation A) auf einer 1-Hektar-Parzelle ermöglicht. Bezogen auf die Arbeitserledigungskosten von insgesamt 520 €/ha (JANINHOFF, 2003) werden damit Einsparpotentiale allein durch größere Flächen und einer veränderten Produktionstechnik von fast 30 % deutlich.

## **9.5 Schlussfolgerung**

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass im Marktfruchtbau Schläge unter 5 Hektar besonders hohe Kosten durch geringe Flächenleistung verursachen und der sinnvollen Einsatz von Maschinen mit größeren Arbeitsbreiten kaum möglich ist. Deutlich zu differenzieren sind diese Ergebnisse zugunsten von rechteckigen Flächen mit dem Seitenverhältnis 1 : 2, während Quadrate ebenso ineffizient wie gleichschenklige Dreiecke zu beurteilen sind. Die Arbeitserledigungskosten können aber durch Maschinen mit größerer Arbeitsbreite auf Flächen von über 10 Hektar deutlich gesenkt werden, wo hingegen der Einsatz dieser Maschine (Variation B) auf Flächen unter 5 Hektar höhere Arbeitserledigungskosten als Maschinen mit geringerer Arbeitsbreite (Variation A) verursachen.

Die Diskussion zeigt deutlich, dass rechteckige Flächen erhebliche Vorteile in den Arbeitserledigungskosten gegenüber dreieckigen Flächen haben. Insbesondere bezogen auf die Bestandsführung haben rechteckige Flächen zudem den Vorzug im Rahmen der „guten fachlichen Praxis“ ein exakteres Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln zu gewährleisten. Zudem wird die Flächengröße zu einem entscheidenden Kriterium für den Einsatz von Maschinen mit größerer Arbeitsbreite, wodurch neben den positiven Kosteneffekten eine geringere Zahl von Überfahrten der Maschinen über die Fläche zur Vermeidung von Bodendruck gewährleistet werden könnte, was in Sinne der „guten fachlichen Praxis“ den Vorstellungen des Bodenschutzgesetzes folgt.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass keinesfalls grundsätzlich von einer optimalen Schlaggröße gesprochen werden kann. Zwar ist i.d.R. das langgestreckte Rechteck die bevorzugte Schlagform, aber in Abhängigkeit von Arbeitsbreite und Vorfahrtgeschwindigkeit der Arbeitsmaschine folgen unterschiedliche theoretisch-ideale Schlaggrößen.

In Erkenntnis dieser Zusammenhänge sollten in den alten Bundesländern alle Möglichkeiten ausgeschöpft werden über Verfahren des freiwilligen Landtauschs und der virtuellen Flurbereinigung Flächen zu größeren Bewirtschaftungseinheiten zusammen zu legen. Nur durch diesen organisatorischen Fortschritt ist auch ein rationaler Einsatz des technischen Fortschritts möglich, der wiederum einen wichtigen Baustein für die Ernährungsgrundlage einer wachsenden Menschheit bietet.

## 10 Zusammenfassung

Die Nutzflächenstrukturen vieler landwirtschaftlicher Unternehmen sind unzureichend auf den technischen Fortschritt abgestimmt und verursachen zu hohe Arbeitserledigungskosten. Das Betriebswachstum durch Pacht oder Kauf von landwirtschaftlichen Flächen führt i.d.R. zu einer steigenden Zahl von Bewirtschaftungseinheiten (Schläge) mit der Folge einer Zunahme von Wege- und Rüstzeiten. Auch verursachen kleine und in der Form ungünstig angelegte Flächen durch Wendevorgänge, negative Randstreifeneffekte und Überlappungen bei Aussaat und Applikation von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln erhöhten Bewirtschaftungskosten.

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung des Einflusses von Flächengröße und Flächenform unter besonderer Beachtung der Auswirkungen daraus resultierender Wendevorgänge auf die Arbeitserledigungskosten in der Hauptzeit. Hierzu wird ein Arbeitsmodell entwickelt mit der Aufgabe theoretische und im Praxisversuch erhobene Werte in Leistungsdaten des Arbeitszeitaufwandes zu verrechnen. Als Untersuchungsgegenstand werden in das Arbeitsmodell Flächengrößen, Flächenformen und Mechanisierungsvariationen mit unterschiedlichen Arbeitsbreiten und einer Direktsaatvariante aufgenommen:

- Flächengröße 1 bis 20 Hektar
- Flächenformen
  - Rechteck (Seitenverhältnis 1 : 2)
  - Quadrat
  - Gleichschenkliges Dreieck
  - Spitzwinkliges Dreieck
- Mechanisierung
  - Variation A
    - 3-Schar Pflug
    - Sekundärbodenbearbeitung/Aussaat 3 m
    - Applikationstechnik 15 m
    - Traktor 66 kW

- Variation B

6-Schar-Pflug

Sekundärbodenbearbeitung/Aussaat 6 m

Applikationstechnik 36 m

Traktor 175 kW

- Variation C

Direktsaat 6 m

Applikationstechnik 36 m

Traktor 175 kW

Mittels einer Methode der kausalen Zeitermittlung, der Zeitelementmethode, werden in einer Arbeitszeitstudie für die unterschiedliche Flächenformen, Flächengrößen und Mechanisierungsvariationen Wendevorgänge gemessen, zu Zeitelementen verarbeitet und daraus im Arbeitsmodell Planzeitelemente entwickelt.

Die im Arbeitsmodell gewonnenen Ergebnisse zu Wendezeitanteilen an der Gesamtzeit von Arbeitsvorgängen im Getreidebau zeigen deutliche Unterschiede von Wendezeitanteilen zwischen den Arbeitsgängen der Bodenbearbeitung, Aussaat und Bestandsführung und auch ebenso zwischen Flächengröße und Flächenform. So liegt, je nach Konfiguration, der Zeitanteil für Wendevorgänge auf einem 1-Hektar-Schlag bei 30 bis 70 Prozent mit deutlichen Degressionen auf 5 bis 30 % bei einer Flächenvergrößerung auf 20 Hektar.

Die untersuchten Maschinenvariationen zeigen auf allen Flächenformen deutliche Leistungssteigerungen auf Schlägen bis 10 Hektar. Bei Gespannen mit einer höheren Vorfahrtgeschwindigkeit führen die Wendevorgänge zu einer höheren prozentualen Zeitbelastung in der Arbeitserledigung mit einer flacher verlaufenden Degressionskurve bis 20 Hektar.

Eine Auswertung der Arbeitserledigungskosten zeigt bei Flächengrößen bis 4 Hektar Kostenvorteile für die Maschinenvariation A (geringere Arbeitsbreiten). Die Mechanisierungsvariation B (höhere Arbeitsbreiten) mit höheren Maschinenkosten kann unter den getroffenen Annahmen erst bei Flächen ab 5 Hektar sinnvoll eingesetzt werden. Durch die Gestaltung von rechteckigen Schlägen im Bereich von 20 Hektar können die Arbeitserledigungskosten bei gleicher Form der Mechanisierung um bis zu 8 % gegenüber kleineren und ungünstiger geschnittenen Schlägen reduziert werden.

Daher wird festgestellt, dass – auch im Zusammenhang mit einem breiteren Vorgewende – der technische Fortschritt von größeren und effizienteren Maschinen zwingend eine Anpassung der landwirtschaftlichen Nutzflächen erfordert. Dabei gibt es keine optimale Flächengröße, sondern diese steht in Korrelation zu den Mechanisierungsverfahren.

## 11 Summary

Often agricultural enterprises do not coordinate their technical equipment in use closely enough with the given structure of usable agricultural areas – a circumstance which often results in labour expenditures higher than necessary.

The growth of agricultural enterprises caused by rental or purchase of further usable areas does not only lead to an increase of productive capital such as a higher amount of entities to be managed (fields), but normally also results in an increase of non-productive activities such as setup and changeover times as well as home-to acre-times.

Especially smaller areas with more unfavourable shapes cause higher labour expenditure, influenced by higher turnover times as well as the negative effects of head land or the overlapping treatment in drilling and the application of fertilizer and crop protection products.

This study analyzes the influence of an area's size and its shape on labour expenditures, while focussing on the effects of turnover-processes and their influence on production costs in the major processing time.

To come to a conclusion of how these influences effect productivity, a scoring scheme is developed within this work in order to convert the theoretic assumptions as well as and the results of the practical experiment into performance data as a basis for the calculation of production costs.

The experiment focuses on the objects: size, geometric figure of the relevant area and on mechanization. The mechanizations considered within this study include different working widths and one variant for no tillage.

- Area size                    1 to 20 hectares
  
- Area shape                    - rectangular (width-to-height ratio 1 : 2)  
                                      - square  
                                      - isosceles triangle  
                                      - acute angled triangle
  
- Mechanization                - Variation A  
    Three-share-plough  
    Secondary tillage/ drilling 3 meter  
    Crop protection technology and fertilizer  
    distributor 15 meters  
    tractor 66 kW  
  
    - Variation B  
    six-share-plough  
    Secondary tillage/ drilling 6 meter  
    Crop protection technology and fertilizer  
    distributor 36 m  
    tractor 175 kW  
  
    - Variation C  
    No tillage - 6 meters  
    Crop protection technology and fertilizer  
    distributor 36 m  
    tractor 175 kW

The method of causally determination of time, “time-element-method” is basis for time measurement within this experiment at hand.

Within this study this method is used for measuring turnover times within different area’s shapes, sizes and variants of mechanization.

The times are transferred into time elements and translated into elements of planning–time for the calculation scheme.

The results of this experiment describe the ratio of turnover times from the overall net-production time, defined as the overall sum of working processes related with the cultivation of grain as a percentage of the overall production time.

In comparison with the different working processes of soil cultivation such as drilling and tillage operations the results of the experiment described indicate clear differences in turnover times related to the different working processes but also to area size and shape.

According to the specific configuration of these two factors (area size and shape) the ratio of turnover times from the overall working process is substantial. Depending on the area shape an area of 1 hectare indicates a percentage 30% up to 70 % of turnover times and a clear degression of this value from 5% up to 30% at an area size of 20 hectares.

The variants of mechanization considered indicate significant increases in performance on fields sized up to 10 hectares.

Harnessed teams enabling higher drive-up speed lead to a higher percentage of turnover-times on the overall working process time showing a gently decline considering areas of a size up to 20 hectares.

The analysis of the costs of labour and machinery indicates positive cost effects for the mechanization described in variant A (smaller working widths) on areas of a size up to 4 hectares.

Considering the given assumptions of the experiment, the mechanization described in variant B (larger working widths), which is related to higher investments and related costs for machinery can be used more efficiently at a minimum field size of 5 hectares.

With the same mechanization as described above, the creation of rectangular fields with a size of about 20 hectares can lead to a decline of labour expenditures of up to 8% in comparison with smaller and less favourable shaped fields.

As a result of this study, including the consideration of the effects of broader headland it can be said, that the progression in technical development of larger and more efficient agricultural machines also requires an adaptation of the agricultural areas in use. Within this context an optimum field size as a stand-alone aspect of analysis does not exist. An optimum field size is always closely correlated to the chosen mechanization in use.

**Literaturverzeichnis**

- AUERNHAMMER, H. / DEMMEL, M. / ROTHMUND, M. (2001): Gewannebewirtschaftung im Projekt Zeilitzheim; in Landtechnik 56 Jg., 3/2001, S. 136-137.
- AUERNHAMMER, H. (1986): Landwirtschaftliche Arbeitslehre; Hrsg. Institut für Landtechnik der TU-München, Freising-Weihenstephan.
- BMVEL (2004): Zum Ernährungs- und agrarpolitischen Bericht 2004 – Buchführungsergebnisse der Testbetriebe, Reihe Daten-Analysen; Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Ref. 246 (Hrsg.), Bonn.
- DANIELS-SPANGENBERG v., H. (2000): Für wie viel DM/dt ist Weizenproduktion möglich?; in DLG-Pressedienst zur Wintertagung im Jahr 2000 in Erfurt; Hrsg. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Frankfurt/M.
- DEGNER, J. (1999): Einfluss der Schlaggröße auf die Verfahrenskosten; in Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen Heft 10/1999 – Jahrestagung Landwirtschaft 1999, Hrsg. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, S. 66-71.
- DIETZEL, H. (2000): Schlaggröße und Schlagform in Ackerbaugebieten der neuen Länder; in Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung Heft 2/2000, S. 68-73.
- DLG (2004): Die neu Betriebszweigabrechnung; Arbeiten der DLG Bd. 197; Hrsg. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Frankfurt/M., 2. Aufl.
- EICHHORN, H. (1999): Landtechnik – Landwirtschaftliches Lehrbuch; 7. völlig neu bearb. Auflage, Stuttgart.
- GAYL, S. (2001): Arbeitskosten optimieren – Arbeitskapazitäten und Mechanisierung im Acker- und Futterbau richtig planen; in Neue Landwirtschaft Heft 9/2001, S. 20-22.
- GINDELE, E. H. (1972): Die Bedeutung agrarstruktureller Elemente für eine rationelle Arbeitserledigung in der Feldwirtschaft; KTBL-Schrift 156, Hrsg. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Frankfurt/M.
- HDLGN (2004): Fläche der landwirtschaftlichen Parzellen – aus InVeKoS Hessen; Schriftliche Auskunft von Süß, H., Hessisches Dienstleistungszentrum für Landwirtschaft, Gartenbau und Naturschutz, Wetzlar.

- HERRMANN, A. (1995): Auswirkungen der Schlaggröße auf die Leistung und den Arbeitszeitbedarf in der Gesamtarbeitszeit sowie auf Kosten der Arbeitserledigung; in Agrartechnische Berichte Nr. 26 – 10. Arbeitswissenschaftliche Seminar am 23. und 24. Oktober 1995, Hrsg. Institut für Agrartechnik Hohenheim, S. 129-138.
- HERRMANN, A. (1999): Modellierung verfahrenstechnischer Bewertungskriterien; Habil., Martin Luther Universität Halle.
- HESSELBACH, J. (1968): Zur Ermittlung arbeitswirtschaftlicher Daten hochmechanisierter Ernteverfahren; KTBL-Berichte über Landtechnik, Heft 122, München-Wolfratshausen.
- HUMMEL, S. / MÄNNEL, W. (1990) Kostenrechnung (Bd. 1) – Grundlagen, Aufbau und Anwendung; 4. völlig neu bearb. u. erw. Aufl., Wiesbaden
- JANINHOFF, A. (2000a): Die Feldparzellen vergrößern und Bestelleinheiten bilden; in Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt Nr. 40 vom 07.10.2000, S. 41-43.
- JANINHOFF, A. (2000b): Größere Parzellen oder Bestelleinheiten erreichen; in Landwirtschaftliches Wochenblatt 35/2000, S. 24-27.
- JANINHOFF, A. (2000c): Einbußen durch Vorgewende und Randstreifen minimieren; in Landwirtschaftliches Wochenblatt 38/2000, S. 12-15.
- JOSSÉ, G. (2001): Basiswissen Kostenrechnung; 2. durchges. Auflage., München
- KTBL (2003): Taschenbuch der Landwirtschaft; Hrsg. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt, 21. Aufl.
- KLISCHAT, U. (2003): Kosten senken heißt die eigenen Kosten kennen – Vollkostenrechnung im Ackerbau; in Betriebswirtschaftliche Mitteilungen – Marktfruchtreport 2003, Hrsg. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Kiel, S. 14-17.
- KOCH, L. (2002): Schaffung wettbewerbsfähiger Schlaggrößen – ein wirkungsvoller Weg zur Nutzung von Rationalisierungsreserven im Ackerbau; in ALB-Bericht Nr. 73 – Sinnvolle Flächengrößen aus ökonomischer Sicht, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft für Rationalisierung, Landtechnik und Bauwesen in der Landwirtschaft Hessen e.V., Kassel.
- KÖHNE, M. (2001): Leitlinien für Betriebsentwicklungen; in Neue Landwirtschaft 1/2001; S. 16-18.

- KUHLMANN, F. (1978): Einführung in die Betriebswirtschaftslehre für den Agrar- und Ernährungsbereich; Frankfurt/M.
- LAK (2003): Verrechnungssätze für überbetrieblichen Maschineneinsatz in Hessen – Richtwerte 2002/03; Hrsg. Landesarbeitskreis Überbetriebliche Maschinenverwendung in Zusammenarbeit mit dem Hessischen Dienstleistungszentrum für Landwirtschaft, Gartenbau und Naturschutz, Kassel.
- MEISSER, H. (1996): Passende Rechtecke sind günstig. Schlaggröße und Schlagform – Auswirkungen auf die Arbeitskosten; Neue Landwirtschaft 9/1996, S. 84-87.
- MÖSER, J. (1996): Zur Wirtschaftlichkeit der gemeinschaftlichen Flächennutzung in zersplitterten Feldfluren; Diss. beim Fachbereich Agrarwissenschaften und Umweltsicherung der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- MÜLLER, M. et al. (1989): Technologische Prozesse der Pflanzenproduktion; VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 2. Aufl. 1989.
- PIEHL, M. (2003): Betriebsergebnisse – Nur knapp im grünen Bereich; DLG-Mitteilungen 6/2003, S. 12-15.
- ROTHMUND, M. (2003): Gewannebewirtschaftung; Merkblatt Nr. 334, Hrsg. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. Frankfurt/M.
- SEUFERT, H. / WAGNER, A. (2000): Verfahrenskosten der Grünlandbewirtschaftung; in Landtechnik 3/2000, S. 230 u. 235.
- SEUFERT, H. (1995): Kostensparende Lösungen für Stallanlagen; in: Ergebnisse landwirtschaftlicher Forschung; Justus-Liebig-Universität Gießen, Heft XXII, Gießen, S. 69 – 94.
- BLUMRÖHR, T. / BRAND, R. (2004): Landwirtschaft in Deutschland 2003 – Konzentrationsprozess und Ernteauffälle; Hrsg. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Anhang A Tab. A1-3.
- SCHMIDT, F. (1998): Und es funktioniert doch – Freiwilliger Landtausch; in DLG-Mitteilungen 8/1998, S. 22-23.
- SCHÖN, H. (1998): Die Landwirtschaft – Band 3 / Bauwesen, Verfahrenstechnik, Arbeit, Gebäude, Umwelt; 9. völlig neu bearb. u. erw. Auflage, München.
- STARK, G. (2003): Festkosten sind das Hauptproblem; in Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt Nr. 28 vom 12.07.2003, S. 31-32.

- STEIN, E. / MÖLLER, D. / KUHLMANN, F. (2003): Potenziale, Probleme und Umsetzungsstrategien der Vergrößerung ackerbaulicher Bewirtschaftungseinheiten aus organisatorisch-ökonomischer Sicht; in Rentenbank Schriftenreihe Bd. 18 – Aktuelle Probleme der landwirtschaftlichen Flächennutzung, Frankfurt/M., S. 93-138.
- WAGNER, P. (2001): Gewannebewirtschaftung – Kosten und Nutzen; in KTBL Sonderveröffentlichung 034 – Gewannebewirtschaftung, KTBL-Fachtagung am 05.07.2001 in Ulm-Seligweiler, Hrsg. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt, S. 30-41.
- WETTICH, K. (1993): Entwicklung eines Mengenplaners zur Erstellung von Soll-Mengengerüsten ackerbaulicher Produktionsprozesse; Diss. beim Fachbereich Agrarwissenschaften und Umweltsicherung der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Mein Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. H. Seufert für die Überlassung des Themas und die besonders angenehme und hilfreiche Betreuung und Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. W. Opitz von Boberfeld für die Übernahme der Zweitbegutachtung

dem gesamten Institut für Landtechnik der JLU für die freundliche Hilfsbereitschaft und vor allem dem Team der Mess- und Regeltechnik, die das Gelingen der Fahrversuche ermöglicht haben.

den Landwirten, die durch Bereitstellen ihrer Technik und der Ackerfläche die Fahrversuche zum Erfolg geführt haben.