

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I

Professur für Pflanzenbau

Justus-Liebig-Universität Gießen

**Backqualität von Winterweizen bei variierender
Stickstoff-Düngung und unter Berücksichtigung
modifizierter Bewertungskriterien**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

(Doctor agriculturæ – Dr. agr.)

im Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und
Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

JULIA HEES

geb. Klußmann

aus Dillenburg

Gießen, Januar 2020

Mit Genehmigung des Fachbereichs Agrarwissenschaften,
Ökotoxikologie und Umweltmanagement der
Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter:

1. Gutachter: Herr Prof. Dr. Bernd Honermeier
2. Gutachter: Herr Prof. Dr. Andreas Gattinger

Danksagung

Nach vier langen Jahren intensiver Arbeit liegt sie nun vor Ihnen: meine Dissertation. Damit ist es an der Zeit mich bei den Menschen zu bedanken, die mich auf diesem Weg begleitet haben.

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Doktorvater Herrn Prof. Bernd Honermeier für seine wissenschaftliche und methodische Unterstützung während der gesamten Bearbeitungsphase meiner Dissertation.

Herrn Prof. Gattinger danke ich für die kurzfristige Bereitschaft das Zweitgutachten zu übernehmen.

Weiterhin bedanke ich mich bei meinen Institutskolleginnen und –kollegen Rosa Allerdings, Erika Schick, Edwin Mandler, Paula Fischer und Christiane Schmidt für die tolle und unvergessliche Zusammenarbeit. Dr. Fen Yang, Dr. Janna Macholdt, Dr. Beate Stumpf, Kathrin Göbel und Daniel Kern danke ich für die vielen fachlichen Anregungen und Ratschläge. Auch die nicht-wissenschaftlichen und motivierenden Gespräche haben mich in meiner Arbeit sehr unterstützt und vorangetrieben. Ohne euch wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Auch den Kollegen der Versuchsstationen in Gießen und Rauschholzhausen möchte ich meinen großen Dank aussprechen.

Mein Dank gilt außerdem den vielen engagierten Studenten, die mich bei meinen Untersuchungen tatkräftig bei Wind und Wetter unterstützt haben.

Daneben möchte ich mich bei Herrn Dr. Ludger Linnemann des Forschungsringes e.V. aus Darmstadt bedanken, der als Projektpartner seine Expertise einbrachte und mich in die Proteinanalytik sowie die Backversuche eingeführt hat.

Abschließend bedanke ich mich bei meinem Mann, meinen Eltern und Schwiegereltern sowie meinen guten Freunden von Herzen für die Unterstützung, den Rückhalt, das entgegengebrachte Verständnis und die Motivation während der gesamten Zeit.

Nichts ist schädlicher für den Fortschritt der Wissenschaft, nichts hemmender für die Einsicht, als ein alter Irrtum, denn es ist unendlich schwer, eine falsche Lehre zu widerlegen, eben weil sie auf der Überzeugung beruht, daß das Falsche wahr sei.

Justus von Liebig (1803 – 1873)

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	III
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
Abbildungsverzeichnis.....	X
Tabellenverzeichnis.....	XIV
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Literaturübersicht.....	4
2.1 Verwendung und Qualitätsanforderungen von Backweizen	4
2.2 Zusammensetzung des Weizenkorns.....	5
2.2.1 Kohlenhydrate.....	6
2.2.2 Lipide	6
2.2.3 Proteine.....	6
2.2.4 Zusammensetzung der Kleberproteine	8
2.2.5 Funktionen der Kleberproteine während der Teigentwicklung	9
2.2.6 Glutenin-Makropolymer.....	11
2.3 Stickstoff-Düngung beim Backweizen	11
2.3.1 N-Bedarf und zeitlicher Verlauf der N-Aufnahme	11
2.3.2 Bedeutung der N-Form für den Backweizen	13
2.3.3 Nutzung von Vegetationsindices zur Unterstützung der Ertrags- Vorhersage.....	15
3 Material und Methoden.....	18
3.1 Versuchsstandorte.....	18
3.1.1 Versuchsstation Gießen.....	18
3.1.2 Versuchsstation Rauschholzhausen	22
3.2 Versuchsanlage.....	24
3.2.1 Prüffaktoren	26
3.3 Versuchsdurchführung	28
3.3.1 Gießen	28
3.3.2 Rauschholzhausen.....	30
3.4 Feldparameter	31
3.4.1 Kornertrag	31
3.4.2 Ähren/m ²	31
3.4.3 Tausendkornmasse	31
3.4.4 Stickstoffnutzungseffizienz des Weizens	32
3.4.5 N-Aufnahme.....	32

3.4.6	Pflanzenlänge	32
3.4.7	Vegetationsindices	32
3.5	Laboranalysen	33
3.5.1	N _{min} -Bodenuntersuchungen	33
3.5.2	N-Bestimmung im Korn	33
3.5.3	Nah-Infrarot-Transmissionsspektroskopie	33
3.5.4	Feuchtklebergehalt	34
3.5.5	Glutenindex nach Perten	34
3.5.6	GMP-Quantifizierung mittels SE-HPLC	34
3.5.7	Sedimentationstest nach Zeleny	37
3.5.8	Fallzahl nach Hagberg-Perten	37
3.5.9	Backversuche	38
3.6	Statistische Auswertung	40
4	Ergebnisse	42
4.1	Feldparameter	42
4.1.1	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Kornertrag	42
4.1.2	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die Ährendichte	47
4.1.3	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die Tausendkornmasse	51
4.1.4	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die N-Entzüge durch den Weizen	55
4.1.5	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die Stickstoffnutzungseffizienz durch den Weizen	60
4.1.6	Einfluss der N-Düngung auf den Rest-N-Gehalt des Bodens nach der Ernte	64
4.1.7	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Vegetationsindex NDVI	66
4.2	Laboranalysen	77
4.2.1	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Proteingehalt (NIRS)	77
4.2.2	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Feuchtklebergehalt	82
4.2.3	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Glutenindex	88
4.2.4	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf das Glutenin-Makropolymer	92
4.2.5	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Glutenin-Makropolymer Anteil am Proteingehalt des Weizenmehls	97
4.2.6	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Sedimentationswertes ..	101
4.2.7	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die Fallzahl	106
4.2.8	Einfluss der Sorten und der N-Düngung auf den Rapid-Mix-Test	111
4.2.9	Einfluss der Sorten und der N-Düngung auf den Optimierter Backtest nach Linnemann	119

4.2.10	Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die OBT-Volumenausbeute pro Prozentpunkt Mehl-Protein	124
4.3	Methodenvergleich	128
4.3.1	Vergleich der Bestimmung des Proteingehalts im Korn	128
4.3.2	Vergleich der Bestimmung des Proteingehaltes im Mehl (Type 550)..	129
4.3.3	Vergleich der Bestimmung des Feuchtklebergehalts im Korn.....	130
4.3.4	Vergleich der Bestimmung des Sedimentationstests	131
4.3.5	Korrelationen.....	131
5	Diskussion	133
5.1	Kornertrag	133
5.2	N-Entzüge	138
5.3	Vegetationsindices	139
5.4	Indirekte Qualitätsparameter	140
5.5	Backversuche.....	148
5.6	Methodenvergleich	151
6	Zusammenfassung	153
7	Literaturverzeichnis	156

Abkürzungsverzeichnis

BSA	Bovine Serum Albumin
BSL	Beschreibende Sortenliste
CCC	Chlormequatchlorid
CULTAN	Controlled uptake long term ammonium nutrition
DüV	Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen
ES	Entwicklungsstadium
FE	Farinogramm-Einheiten
GI	Gießen
GMP	Glutenin-Makropolymer
HLG	Hektolitergewicht
HMW	High-molecular-weight
HPLC	High pressure liquid chromatography
HU	Homogene Untergruppen nach Tukey
KAS	Kalkammonsalpeter
KBV	Kastenbackversuch
kDa	Kilodalton
LAI	Leaf Area Index
LMW	Low-molecular-weight
MBT	Mikro Backtest
MCPA	2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure
MRMT	Micro-Rapid-Mix-Test
MW	Molecular weight
N	Stickstoff
nFK	Nutzbare Feldkapazität
NDRE	Normalized Difference Red Edge
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
NIT	Nahinfrarot-Transmission
NS	Niederschlag
n.s.	nicht signifikant
NSP	Nicht-Stärke-Polysaccharide
NUE	Nitrogen Use Efficiency
OBT	Optimierter Backtest
R ²	Bestimmtheitsmaß
RH	Rauischholzhausen
REIP	Red Edge Inflection Point
RMT	Rapid-Mix-Test
RP	Reverse Phase
RT	Raumtemperatur

S	Schwefel
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index
SDS	Sodium dodecyl sulphate
SEC	Size-exclusion chromatography
SE-HPLC	Size-exclusion-high pressure liquid chromatography
SR	Simple Ratio
TKM	Tausendkornmasse
VA	Volumenausbeute
VI	Vegetationsindices
u	Atomare Masseneinheit
UPM	Umdrehungen pro Minute
UPP	Unextractable Polymeric Protein
uT	Schluffiger Ton
WR	Winterraps
\bar{x}	Mittelwert

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau und Bestandteile eines Getreidekorns	5
Abbildung 2: Zusammensetzung des Klebereiweißes	9
Abbildung 3: Noch ungedehnte Proteinstruktur zu Beginn des Knetprozesses (Stärke wurde entfernt)	10
Abbildung 4: Gekneteter Teig mit gedehntem Netzwerk mit beginnender Filmbildung zwischen den Proteinsträngen	10
Abbildung 5: Struktur eines optimal gekneteten Teiges	10
Abbildung 6: N-Düngung beim Winterweizen in Abhängigkeit der Entwicklungsstadien	13
Abbildung 7: Injektionsvorrichtung des CULTAN-Verfahrens im Weizenbestand (oben); Injektionsdüse, die in den Boden einsticht und die DüngeLösung appliziert (unten) (J. Hees)	14
Abbildung 8: Reflektionsspektren und zu messende Farbbereiche im sichtbaren und nahen Infrarot-Bereich (Reckleben 2004)	15
Abbildung 9: Monatliche Niederschlagsmengen der drei Versuchsperioden und des langjährigen Mittels (1960-2014) am Standort Gießen „Weilburger Grenze“	19
Abbildung 10: Temperaturverläufe der drei Versuchsperioden und des langjährigen Mittels (1960-2014) am Standort Gießen „Weilburger Grenze“	19
Abbildung 11: Hagelschaden an Weizenähren, Gießen Ende Juni 2017 (J. Hees)	20
Abbildung 12: Keimende Weizenkörner, Gießen August 2017 (J. Hees)	21
Abbildung 13: Tagesniederschläge im Zeitraum März bis August 2018 am Standort Gießen „Weilburger Grenze“	21
Abbildung 14: Monatliche Niederschlagsmengen der drei Versuchsperioden und des langjährigen Mittels (1948-2014) am Standort Rauschholzhausen	23
Abbildung 15: Temperaturverläufe der drei Versuchsperioden und des langjährigen Mittels (1948-2014) am Standort Rauschholzhausen	23
Abbildung 16: Tägliche Durchschnittstemperatur und tägliche max. Temperatur, sowie die Niederschläge am Standort Rauschholzhausen im Zeitraum April bis September 2018.....	24
Abbildung 17: Aufbau des Parzellenversuchs Gießen (2016-2018)	25
Abbildung 18: Plot in Plot-Design, Parzellenversuch Rauschholzhausen 2016/17 (J. Hees).....	25
Abbildung 19: Chromatogramme des BSA-Standards für die unterschiedlichen Injektionsvolumina zur Erstellung der Kalibrationsgeraden (J. Hees)	36
Abbildung 20: Kalibrationsgerade basierend auf der Standard-Substanz BSA für die GMP-Quantifizierung (J. Hees).....	36
Abbildung 21: Charakteristisches Chromatogramm einer GMP-Probe (J. Hees)	37
Abbildung 22: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für den Kornertrag des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.	43
Abbildung 23: Wechselwirkungen zwischen der N-Düngung und dem Versuchsjahr für das Merkmal Kornertrag des Weizens, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	44
Abbildung 24: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und dem Versuchsjahr für den Kornertrag des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	45
Abbildung 25: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und N-Düngung für den Kornertrag des Weizens, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	46
Abbildung 26: Einfluss des Versuchsjahrs auf die Anzahl an Ähren pro m ² des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.....	48
Abbildung 27: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für die Anzahl an Ähren pro m ² des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.	49
Abbildung 28: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und dem Versuchsjahr für die Anzahl an Ähren pro m ² des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	50
Abbildung 29: Wechselwirkungen zwischen der N-Düngung und dem Versuchsjahr für die Anzahl an Ähren pro m ² des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	51
Abbildung 30: Einfluss des Versuchsjahrs auf die Tausendkornmasse des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.	52
Abbildung 31: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für die Tausendkornmasse des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.	53

Abbildung 32: Einfluss des Versuchsjahrs auf die Tausendkornasse des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	54
Abbildung 33: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für die Tausendkornasse des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	55
Abbildung 34: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und dem Versuchsjahr für die N-Entzüge des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.	56
Abbildung 35: Wechselwirkungen zwischen der N-Düngung und dem Versuchsjahr für die N-Entzüge des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.	57
Abbildung 36: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und dem Versuchsjahr für die N-Entzüge des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	58
Abbildung 37: Wechselwirkungen zwischen der N-Düngung und dem Versuchsjahr für die N-Entzüge des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	59
Abbildung 38: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und dem Versuchsjahr für die Nitrogen Use Efficiency (NUE) des Weizens (%) in Gießen 2016 bis 2018.....	61
Abbildung 39: Wechselwirkungen zwischen der N-Düngung und dem Versuchsjahr für die Nitrogen Use Efficiency (NUE) des Weizens (%) in Gießen 2016 bis 2018.	62
Abbildung 40: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für die Nitrogen Use Efficiency (NUE) des Weizens (%) in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	63
Abbildung 41: Einfluss des Versuchsjahres für den Parameter Rest-N nach der Ernte im Boden (0-60 cm), Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2017.	64
Abbildung 42: Einfluss des Versuchsjahres für den Parameter Rest-N nach der Ernte im Boden (0-60 cm), Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	65
Abbildung 43: NDVI-Mittelwerte der geprüften Weizensorten zu den Messterminen ES 32, ES 37-39 und ES 65-69 im Versuchszeitraum 2016 bis 2018 am Standort Gießen, Parzellenversuch Backweizen N-Düngungsversuch.....	67
Abbildung 44 a-c: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte auf den Vegetationsindex NDVI des Weizens, Parzellenversuch Gießen 2016 bis 2018 für die drei untersuchten Messtermine a.) ES 32 (Schossbeginn), b.) ES 37-39 (Fahnenblatt sichtbar) und c.) ES 65-69 (Vollblüte bis Blühende).....	68
Abbildung 45 a-c: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung auf den Vegetationsindex NDVI des Weizens, Parzellenversuch Gießen 2016 bis 2018 für die drei untersuchten Messtermine a.) ES 32 (Schossbeginn), b.) ES 37-39 (Fahnenblatt sichtbar) und c.) ES 65-69 (Vollblüte bis Blühende).	70
Abbildung 46 a-c: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte auf den Vegetationsindex NDVI des Weizens, Parzellenversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018 für die drei untersuchten Messtermine a.) ES 31 (Schossbeginn), b.) ES 37-39 (Fahnenblatt sichtbar) und c.) ES 71 (Beginn Kornbildung).	73
Abbildung 47 a-c: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung auf den Vegetationsindex NDVI des Weizens, Parzellenversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018 für die drei untersuchten Messtermine a.) ES 31 (Schossbeginn), b.) ES 37-39 (Fahnenblatt sichtbar) und c.) ES 71 (Beginn Kornbildung).	75
Abbildung 48: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für den Proteingehalt (NIRS) des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.	78
Abbildung 49: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Proteingehalt (NIRS) des Weizens, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	79
Abbildung 50: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für den Proteingehalt (NIRS) des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	81
Abbildung 51: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Proteingehalt (NIRS) des Weizens, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 - 2018.	82
Abbildung 52: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für den Feuchtklebergehalt (Glutomatic) des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.	83
Abbildung 53: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Feuchtklebergehalt (Glutomatic) des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.....	84

Abbildung 54: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für den Feuchtklebergehalt (Glutomatic) des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	86
Abbildung 55: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Feuchtklebergehalt (Glutomatic) des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	87
Abbildung 56: Jahreseffekt für den Glutenindex (Glutomatic) des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.	89
Abbildung 57: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für den Glutenindex (Glutomatic) des Weizens in Gießen 2016 bis 2018.	89
Abbildung 58: Jahreseffekt für den Glutenindex (Glutomatic) des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	91
Abbildung 59: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für den Glutenindex (Glutomatic) des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	92
Abbildung 60: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für das Glutenin-Makropolymer des Weizenmehls in Gießen 2016 bis 2018.	93
Abbildung 61: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für das Glutenin-Makropolymer des Weizenmehls in Gießen 2016 bis 2018.	94
Abbildung 62: Einfluss des Versuchsjahres für das Glutenin-Makropolymer des Weizenmehls, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	95
Abbildung 63: Einfluss der Sorte auf das Glutenin-Makropolymer des Weizenmehls in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	96
Abbildung 64: Einfluss der N-Düngung auf das Glutenin-Makropolymer des Weizenmehls in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	97
Abbildung 65: Einfluss des Versuchsjahres für den Anteil an Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Mehles des Weizenmehls, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	98
Abbildung 66: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für den Anteil an Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Mehles in Gießen 2016 bis 2018.	99
Abbildung 67: Einfluss der Sorte für den Anteil an Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Weizenmehls in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	100
Abbildung 68: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Anteil an Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Mehles in Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	101
Abbildung 69: Einfluss des Versuchsjahres für den Sedimentationswert des Weizens, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	102
Abbildung 70: Wechselwirkungen zwischen der Weizensorte und der N-Düngung für den Sedimentationswert nach Zeleny, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	103
Abbildung 71: Einfluss des Versuchsjahres für den Sedimentationswert des Weizens, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	104
Abbildung 72: Wechselwirkungen zwischen der Weizensorte und der N-Düngung für den Sedimentationswert nach Zeleny, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	105
Abbildung 73: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für die Fallzahl des Weizens. Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	107
Abbildung 74: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für die Fallzahl des Weizens. Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	108
Abbildung 75: Korrelation zwischen N-Aufwand und dem Parameter Fallzahl für die durchgeführten Parzellenversuche in 2016 bis 2018 an den Standorten Gießen und Rauschholzhausen (n= 960)	108
Abbildung 76: Einfluss der N-Düngung für die Fallzahl des Weizens, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	109
Abbildung 77: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für die Fallzahl des Weizens, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018.	110
Abbildung 78 a-c: Einfluss der Sorte auf das RMT-Backvolumen des Weizens, Parzellenversuch Gießen für die Einzeljahre a.) 2016 (n=16), b.) 2017 (n=32) und c.) 2018 (n=32).	113
Abbildung 79 a-c: : Einfluss der N-Düngung auf das RMT-Backvolumen des Weizens, Parzellenversuch Gießen für die Einzeljahre a.) 2016 (n=16), b.) 2017 (n=32) und c.) 2018 (n=32).	115
Abbildung 80: Aufnahmen der RMT-Brötchen des N-Backweizen-Parzellenversuchs am Standort Gießen 2018.	116

Abbildung 81: Brote des Kastenbackversuches (KBV) des N-Backweizen-Parzellenversuchs aus dem Jahr 2017 am Standort Gießen.	117
Abbildung 82: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für die Volumenausbeute des Rapid-Mix-Tests (RMT) des Weizens, Parzellenversuche Rauischholzhausen 2017 bis 2018.	118
Abbildung 83: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für die Volumenausbeute des Rapid-Mix-Tests (RMT) des Weizens, Parzellenversuche Rauischholzhausen 2017 bis 2018.	119
Abbildung 84: Einfluss des Versuchsjahrs für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	120
Abbildung 85: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	121
Abbildung 86: Einfluss der Sorte auf die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens. Parzellenversuche Rauischholzhausen 2016 bis 2018.	122
Abbildung 87: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens, Parzellenversuche Rauischholzhausen 2016 bis 2018.	123
Abbildung 88: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550), Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	125
Abbildung 89: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550), Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	126
Abbildung 90: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550). Parzellenversuche Rauischholzhausen 2016 bis 2018.	127
Abbildung 91: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550), Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018.	128
Abbildung 92: Korrelation zwischen dem Proteingehalt der durch die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) und nach der Methode von DUMAS bestimmt wurde. Als Basis wurden die Weizenproben der Parzellenversuche aus Gießen und Rauischholzhausen im Zeitraum 2016 bis 2018 verwendet (n= 960).	129
Abbildung 93: Korrelation zwischen dem Proteingehalt im Mehl nach der Methode von DUMAS und Proteingehalt im Mehl mittels HPLC Bestimmung. Als Basis wurden die Weizenproben der Parzellenversuche aus Gießen und Rauischholzhausen im Zeitraum 2016 bis 2018 verwendet (n= 240).	129
Abbildung 94: Korrelation zwischen dem Feuchtklebergehalt, der mit der Glutomatic und den Feuchtklebergehalt, der durch die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) bestimmt wurde. Als Datengrundlage wurden die Weizenproben der Parzellenversuche aus Gießen und Rauischholzhausen im Zeitraum 2016 bis 2018 verwendet (n= 960).	130
Abbildung 95: Korrelation zwischen dem Sedimentationswert, der nach der Methode von Zeleny und den Feuchtklebergehalt, der durch die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) bestimmt wurde. Als Datengrundlage wurden die Weizenproben der Parzellenversuche aus Gießen und Rauischholzhausen im Zeitraum 2016 bis 2018 verwendet (n= 960).	131
Abbildung 96: Kornertrag und Proteingehalt von Weizen in Abhängigkeit von der N-Düngung nach Baker et al. 2004	134

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mindestanforderungen für die Eingruppierung der Weizensorten	5
Tabelle 2: Protein-Fractionen nach Osborne und deren Anteile am Gesamt-Protein	8
Tabelle 3: Wichtigste Vegetationsindices, die in landwirtschaftlichen N-Sensoren verwendet werden.....	17
Tabelle 4: Niederschlagssummen und mittlere Lufttemperatur am Standort Gießen "Weilburger Grenze" ...	18
Tabelle 5: Niederschlagssummen und mittlere Lufttemperaturen am Standort Rauschholzhausen	22
Tabelle 6: N-Düngungsplan der Weizen-Parzellenversuche in Gießen und Rauschholzhausen in den Jahren 2016 bis 2018	26
Tabelle 7: Eigenschaften der verwendeten Sorten	28
Tabelle 8: Maßnahmen in den Parzellenversuchen in Gießen (2016 bis 2018).....	29
Tabelle 9: Durchgeführte Maßnahmen in den Parzellenversuchen in Rauschholzhausen (2016 bis 2018)	30
Tabelle 10: Übersicht der Einteilung der VA für Back- und Aufmischweizen	38
Tabelle 11: Beurteilung von Weizenmehl Type 550 auf Basis der Kastenbackversuchs anhand der Wertzahl	40
Tabelle 12: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Merkmal Kornertrag von Winterweizen, Backweizen N- Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	42
Tabelle 13: Mittlere Kornerträge (dt/ha) der Sorten der einzelnen Versuchsjahre, Backweizen N- Düngungsversuch Gießen und Rauschholzhausen (2016 bis 2018)	43
Tabelle 14: Mittlere Kornerträge (dt/ha) der Düngungsvarianten aller Versuchsjahre, Parzellenversuch Gießen (2016 bis 2018).....	44
Tabelle 15: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Merkmal Kornertrag von Weizen, Backweizen N- Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	45
Tabelle 16: Mittelwerte der Kornerträge des Winterweizens des gesamten Versuchs für die Standorte Gießen und Rauschholzhausen in den Jahren 2016 bis 2018	47
Tabelle 17: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Ertragskomponente Ähren/m ² des Weizens, Backweizen N- Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	47
Tabelle 18: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Ährenanzahl pro m ² des Weizens, Backweizen N- Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	49
Tabelle 19: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Tausendkornmasse des Weizens, Backweizen N- Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	52
Tabelle 20: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Tausendkornmasse des Weizens, Backweizen N- Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	53
Tabelle 21: Ergebnisse der Varianzanalyse für die N-Entzüge des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	55
Tabelle 22: Ergebnisse der Varianzanalyse für die N-Entzüge des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018	58
Tabelle 23: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Nitrogen Use Efficiency (NUE) des Weizens, Backweizen N- Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	60
Tabelle 24: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Nitrogen Use Efficiency des Weizens, Backweizen N- Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	62
Tabelle 25: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Rest-N-Gehalt im Boden, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2017	64
Tabelle 26: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Rest-N-Gehalt im Boden, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018	65
Tabelle 27: Ergebnisse der Varianzanalyse für die NDVI-Werte des Weizens zu den unterschiedlichen Entwicklungsstadien, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	66
Tabelle 28: Bestimmtheitsmaß (R ²) zwischen dem Kornertrag und den jeweiligen Vegetationsindices NDVI und NDRE zu verschiedenen Messterminen während der Vegetation am Standort Gießen (2016 bis 2018).....	71
Tabelle 29: Ergebnisse der Varianzanalyse für die NDVI-Werte des Weizens zu den unterschiedlichen Entwicklungsstadien, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018	72
Tabelle 30: Korrelationsbeziehungen (R ²) zwischen den Kornertrag und den jeweiligen Vegetationsindices NDVI und NDRE zu verschiedenen Messterminen während der Vegetation am Standort Rauschholzhausen (2016 bis 2018).....	76

Tabelle 31: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Proteingehalt von Weizen, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	77
Tabelle 32: Mittlere Proteingehalte der Sorten der einzelnen Versuchsjahre, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen und Rauschholzhausen (2016 bis 2018).....	78
Tabelle 33: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Proteingehalt von Weizen, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	80
Tabelle 34: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Feuchtklebergehalt des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	82
Tabelle 35: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Feuchtklebergehalt des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	85
Tabelle 36: Sortenmittelwerte für den Parameter Feuchtklebergehalt in den Jahren 2016 bis 2018 an den Standorten Gießen und Rauschholzhausen in %, Backweizen N-Düngungsversuch	86
Tabelle 37: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Glutenindex des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	88
Tabelle 38: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Glutenindex des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	90
Tabelle 39: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Gehalt an Glutenin-Makropolymer im Weizenmehl, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	92
Tabelle 40: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Gehalt an Glutenin-Makropolymer im Weizenmehl, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	95
Tabelle 41: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Anteil des Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Weizenmehls, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	97
Tabelle 42: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Anteil des Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Weizenmehls, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018	99
Tabelle 43: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Sedimentationswert des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	101
Tabelle 44: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Sedimentationswert des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	103
Tabelle 45: Sortenmittelwerte für den Sedimentationswert in den Jahren 2016 bis 2018 an den Standorten Gießen und Rauschholzhausen in ml, Backweizen N-Düngungsversuch	104
Tabelle 46: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Fallzahl des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	106
Tabelle 47: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Fallzahl des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018.....	109
Tabelle 48: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Backvolumen des RMT (2016, 2018) und des KBV (2017) des Weizenmehls, Type 550, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016, 2017 und 2018	111
Tabelle 49: Mittelwerte der Sorten für das Backvolumen des RMT (2016, 2018) und des KBV (2017) des Weizenmehls, Type 550, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016, 2017 und 2018	112
Tabelle 50: Mittelwerte der N-Düngungsvarianten für das Backvolumen des RMT (2016, 2018) und des KBV (2017) des Weizenmehls, Type 550, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016, 2017 und 2018... ..	114
Tabelle 51: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Volumenausbeute des Rapid-Mix-Tests (RMT) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2017 bis 2018	118
Tabelle 52: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	120
Tabelle 53: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018	122
Tabelle 54: Volumenausbeute des OBTs (ml/ 100 g Mehl, Type 550) im Mittel der Jahre (2016-2018) an den Standorten Gießen und Rauschholzhausen	123
Tabelle 55: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Volumenausbeute des OBTs in ml pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	124
Tabelle 56: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Volumenausbeute des OBTs in ml pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018	126

Tabelle 57: Ergebnisse der Korrelationsberechnungen zwischen verschiedenen Weizen-Qualitätsparametern auf Basis der N-Backweizenversuche an den Standorten Gießen und Rauschholzhausen (2016 bis 2018)	132
Tabelle 58: Absolute Proteinzuwächse im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle der untersuchten Weizensorten, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018	142
Tabelle 59: Korrelationen zwischen Proteingehalt und den unterschiedlichen Backtest mit der Einstufung unter bzw. über 12 % Proteingehalt	149

1 Einleitung und Zielsetzung

Winterweizen (*Triticum aestivum* ssp.) zählt neben Reis und Mais, bezogen auf die weltweite Anbaufläche, zu den bedeutsamsten Kulturpflanzen (FAOSTAT 2017). Der Anbau von Backweizen stellt ein anspruchsvolles und intensiv geführtes Anbauverfahren dar, in dem die Stickstoff-Düngung nicht nur nach dem zu erwartenden N-Entzug durch den Weizenbestand, sondern auch nach den angestrebten Proteingehalten und -qualitäten in den Samenkörnern ausgerichtet ist. Bei einem hohen N-Düngungsniveau und einer mangelnden N-Ausnutzung der Pflanzen, insbesondere bei späten N-Gaben, können auch beim Weizen höhere N-Restmengen nach der Ernte auftreten. Dies kann zu negativen Umweltauswirkungen, wie Nitratauswaschung in das Grundwasser oder gasförmigen Verlusten, führen (Lord und Mitchell 1998). Beispielsweise kam es im Zeitraum 2012 – 2014 an 28 % der Messstellen des EU-Nitratmessnetzes aus verschiedenen Gründen zur Überschreitung des Grenzwertes von 50 mg Nitrat pro Liter Wasser (BMU und BMEL 2016). In den vergangenen Jahren wiederholten sich die Verstöße in Bezug auf die EU Wasserrahmen- und die EU Nitratrichtlinie in Deutschland (ZEIT ONLINE 07.11.2016; Europäische Union 10.07.2014). Es wurden bereits mehrere Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland eingeleitet (Europäische Union 10.07.2014, 20.12.2005). Infolge dessen erarbeiteten die Verantwortlichen eine novellierte Düngeverordnung (DüV), die zum 1. Juni 2017 in Kraft trat. Die überarbeitete Version enthält mehr Restriktionen als die bisherige Fassung. Als Beispiel seien hier eine limitierte Stickstoffeinsatzmenge für organische Düngemittel, längere Sperrfristen, verkürzte Einarbeitungszeiten nach der Applikation und eine erhöhte Dokumentationspflicht genannt (BMEL; BMU; BMF 26.05.2017). Daraus ergibt sich die Frage, ob der Anbau von Qualitätsweizen unter reduzierter Stickstoffversorgung noch umsetzbar ist bzw. bleibt.

Die voraussichtlichen Folgen der limitierten N-Düngung, wie eine verminderte Backfähigkeit, werden zwar oftmals diskutiert, jedoch sind sie wissenschaftlich unzureichend untersucht. Anhand von Erfahrungen aus anderen europäischen Ländern, wie z.B. Dänemark, wo eine striktere DüV bereits praktiziert wird, zeigte sich ein deutlicher Rückgang der Proteingehalte auf Futterweizen-Niveau (Deike 2014). Daher spielt der dänische Weizen im Exporthandel kaum noch eine Rolle (Top Agrar ONLINE 10.06.2015). In Dänemark liegt die Obergrenze bei 170 kg N/ha (Ministry of Environment and Food of Denmark 23.10.2012). Seitens der Landwirtschaft wird eine ähnliche Entwicklung in Deutschland befürchtet, da die Vorgaben der DüV vergleichbar sind. Infolge des gedeckelten Stickstoffeinsatzes, im Mittel des Betriebes, werden Proteingehalte von 13-14 % an den meisten Standorten voraussichtlich nicht mehr erreicht. In Anbetracht der Lage muss ein Umdenken stattfinden. Die momentan angewandten Bezah- und Bewertungskriterien für Weizen, wie z.B. Protein- und Feuchtklebergehalt, sind für eine korrekte Bewertung der Backqualität und eine faire Bezahlung der Ware nicht ausreichend geeignet. Diese Parameter können das reelle Potenzial des Weizens nicht abbilden (Linnemann 2010). Ziel der Dissertation ist es, über die Entwicklung eines Produktionssystems hinaus, einen neuen Parameter zu

etablieren, der eine höhere Korrelation zum Backvolumen aufweist und eine faire Bezahlung ermöglicht. Als Parameter wird eine Unterfraktion des Glutenins, das Glutenin-Makropolymer (GMP), untersucht. Dies soll, laut einiger Studien, einen engen Zusammenhang zum Backvolumen aufweisen (Weegels et al. 1996b; Thanhaeuser et al. 2014b; Mueller et al. 2016).

Auf Basis der folgenden Forschungsfragen wurde der Versuch unternommen, Wissenslücken im Spannungsfeld zwischen politischen Vorgaben, dem Handel und der praktischen Landwirtschaft zu beantworten.

Forschungsfragen:

1. **Wie wirken sich das variierende N-Management (N-Menge, -Form und Düngungstermin) und die unterschiedlichen Sorten auf den Ertrag, die N-Entzüge und die Vegetationsindices des Weizens aus?**
2. **Wurde der Rest-N-Gehalt nach der Ernte durch die Reduzierung der N-Düngung gemindert?**
3. **Wie reagiert der Proteingehalt der untersuchten Sorten auf eine reduzierte N-Düngung?**
4. **Welchen Einfluss haben die N-Düngung (Menge, Form) und die Sorten auf den Gehalt an Glutenin-Makropolymer (GMP)?**
5. **Welche Beziehung besteht zwischen dem Gesamt-Protein und dem GMP?**
6. **Eignet sich das Glutenin-Makropolymer zur Vorhersage der Backqualität des Weizens?**
7. **Welchen Einfluss haben die indirekten Qualitätsparameter (Feuchtkleber, Glutenindex, Sedimentationswert, Fallzahl) auf die Backqualität unter einer reduzierten N-Düngung?**
8. **Welche Auswirkungen haben das N-Management und die Sortenwahl auf die Volumenausbeute der Backtests?**

9. Welcher der Backtests kann die Backqualität zuverlässiger darstellen?

10. Ist es möglich, mit einer reduzierten N-Düngung im Weizenanbau eine ausreichende Backfähigkeit zu erreichen?

11. Sind die Ergebnisse der NIRS-Analytik und der nasschemischen Standard-Methoden vergleichbar?

2 Literaturübersicht

2.1 Verwendung und Qualitätsanforderungen von Backweizen

Winterweizen ist in seiner Nutzung sehr vielfältig. Die zwei wichtigsten Verwendungsziele sind, zum einen die Futternutzung und zum anderen die Herstellung von hefefelockerten Backwaren. Rund 50 % des Weizenaufkommens werden zur Tierfütterung und knapp ein Drittel für die Herstellung von Backwaren verwendet (BMEL und BLE 2018). In Deutschland liegt der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch bei 74,5 kg Brotgetreide (BMEL 2017). Weiterhin dient er als Rohstoff für Kekse, Bier, Stärke und Bioethanol. Einen geringer Anteil nimmt die Saatgutproduktion ein (BMEL und BLE 2018). Die Weizensorten werden in unterschiedliche Qualitätsgruppen in folgender Reihenfolge mit abnehmender Qualität eingeteilt, Elite-Weizen (E), Aufmisch- oder Qualitätsweizen (A), Brot-Weizen (B), Futterweizen (C) bzw. Keks-Weizen (C_k). Der E-Weizen erfüllt die höchsten und der C-Weizen die geringsten Qualitätsanforderungen. Auf Grundlage der Entscheidung der „Kommission Backqualität“ fließt seit 2019 der Rohproteingehalt nicht mehr in die Bewertung bzw. Zuordnung in die Qualitätsgruppen ein. Der Grund dafür liegt in dem breiten Rohproteinbereich, den die einzelnen Sorten unter Praxisbedingungen aufzeigen. Zusätzlich spielen die Bedarfswerte der novellierten DüV (2017) eine entscheidende Rolle. Sorten, die die Proteinanforderungen nur knapp erfüllen, könnten aufgrund dessen abgestuft werden und weniger gut vermarktungsfähig sein. Konkret bedeutet dies, dass die Sorten keine Mindestanforderungen für den Rohproteingehalt erfüllen müssen, um in eine bestimmte Qualitätsklasse zu gelangen. Diese Entscheidung führte bei elf zugelassenen Sorten zu einer Anhebung in die nächstbessere Qualitätsgruppe (Bundessortenamt 2019). Weiterhin werden die Eigenschaften, die in **Tabelle 1** aufgelistet sind, zur Bewertung verwendet.

Tabelle 1: Mindestanforderungen für die Eingruppierung der Weizensorten (Bundessortenamt 2019)

Qualitätsgruppe Eigenschaften	E-Gruppe	A-Gruppe	B-Gruppe	C-Gruppe
	Elite-weizen	Qualitäts-weizen	Brot-weizen	sonstiger Weizen
Volumenausbeute (RMT)	mind. 8	mind. 6	mind. 4	-
Elastizität des Teiges	normal etwas zäh zäh	normal etwas kurz etwas zäh zäh	geschmeidig ¹⁾ normal etwas kurz kurz etwas zäh zäh	-
Oberflächenbeschaffenheit des Teiges	feucht etwas feucht normal	feucht etwas feucht normal	feucht etwas feucht normal etwas trocken	-
Fallzahl	mind. 6	mind. 5	mind. 4	-
Sedimentationswert	mind. 7	mind. 5	mind. 3	-
Wasseraufnahme	mind. 4	mind. 3	mind. 2	-
Mehlausbeute (T 550)	mind. 5	mind. 5 mind. 4 ²⁾	mind. 4 mind. 3 ²⁾	-

¹⁾ Ohne Tendenz zu nachlassend, ²⁾ Bei Sommerweichweizen

2.2 Zusammensetzung des Weizenkorns

Das Samenkorn des Weizens wird als Karyopse bezeichnet, da die Frucht- und Samenschale miteinander verwachsen sind (Belitz et al. 2008). Das Korn setzt sich aus 70 % Kohlenhydraten, hauptsächlich Stärke, 6-16 % Proteinen, 2-7 % Lipiden, 2-13 % Ballaststoffen, 2-5 % Mineralstoffen und ca. 14 % Wasser zusammen. Diese Angaben können je nach Sorte, Standort, klimatischen Bedingungen, N-Einsatz und der Analysemethode beachtlich variieren (Erling und Botterbrodt 2008; Lindhauer et al. 2017).

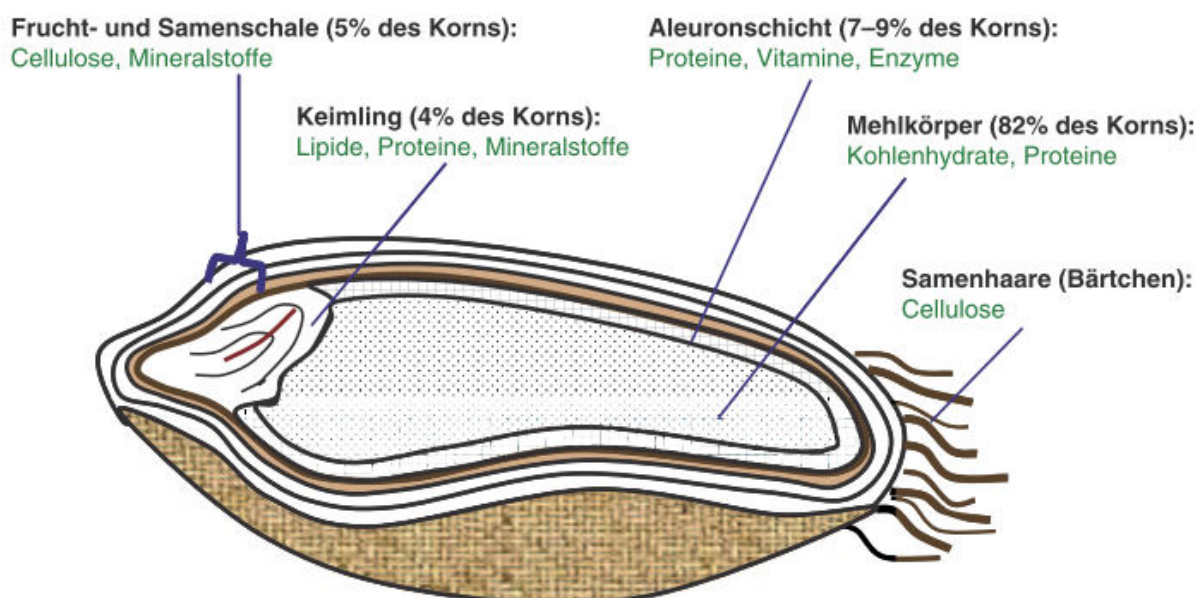


Abbildung 1: Aufbau und Bestandteile eines Getreidekorns (Rimbach et al. 2015)

2.2.1 Kohlenhydrate

Kohlenhydrate kommen im Weizen, als Mono- (z.B. Glucose, Fructose), Di-, Oligo- und Polysaccharide (z.B. Stärke), vor. Innerhalb der Polysaccharide muss zwischen Stärke- und Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP) bzw. Ballaststoffen (z.B. Cellulose, Hemicellulose) unterschieden werden. Anteilig machen die NSP allerdings nur einen kleinen Anteil aus. Sie kommen überwiegend in den Zellwänden und äußeren Randschichten des Weizens vor (Rimbach et al. 2015). Mithilfe der Stärke, die ausschließlich im Endosperm vorkommt, wird überschüssige Energie in unlöslicher Form als Reservestoff eingelagert (**Abbildung 1**). Beim Keimvorgang wird die Stärke von Enzymen, wie Amylasen, abgebaut und dem Keimling zur Ernährung bereitgestellt (Lindhauer et al. 2017). Die Stärke besteht aus zwei Komponenten. Zum einen aus unverzweigter Amylose und zum anderen aus verzweigtem Amylopektin. Das Verhältnis beträgt in etwa 25:75. Sie ist entscheidend für die Backfähigkeit, denn sie ist in der Lage zu quellen und sich zu verkleistern. Wird eine Stärke-Wasser-Suspension auf über 40 °C erwärmt, beginnt die Stärke zu quellen und die Struktur wird aufgelockert. Im Bereich von 60 bis 90 °C setzt die Verkleisterung ein und die Stärkekörner platzen auf, sodass die Amylose- und Amylopektin-Ketten in einer ungeordneten Form miteinander verkleben. An diesem Punkt ist die höchste Viskosität erreicht. Das gequollene Amylopektin formt ein Gerüst, in das die gelöste Amylose eingebunden ist. Die Stärke ist neben dem Kleberweiß Hauptbestandteil der Brotkrume (Erling und Botterbrodt 2008).

2.2.2 Lipide

Weizenkörner sind vergleichsweise fettarm. Die Lipide können in unterschiedlichen Formen vorliegen. Dabei wird zwischen Triglyceriden, Lipidproteinen, Glycolipiden, Stärke-Lipiden und Phospholipiden unterschieden. Besonders reich an Lipiden sind der Keimling und die Aleuronschicht (**Abbildung 1**). Nicht-Stärke-Lipide wirken sich auf rheologische Eigenschaften von Teigen aus, indem sie Verbindungen mit Wasser und Fetten eingehen können. Somit fungieren sie als Emulgatoren und können sich in die Glutenmembran einlagern. Dadurch verbessert sich die Elastizität des Teiges und die Dichte der Gasbläschen wird erhöht. Die Lipide sorgen dafür, dass die Stärke besser an dem Gluten-Komplex haftet. Als Folge nimmt die Gärtoleranz, das Gashaltevermögen und die Krumenelastizität des Gebäcks zu (Erling und Botterbrodt 2008).

2.2.3 Proteine

Proteine bestehen aus vielen aneinander gereihten Aminosäuren. Sie können in linearer oder verzweigter Form vorliegen. Um Proteine zu charakterisieren wird zum einen auf physikalische Eigenschaften wie Löslichkeit, Extrahierbarkeit oder elektrische Ladung und zum anderen auf die physiologischen Funktionen, z.B. Struktur- oder Speicherfunktion, zurückgegriffen. Aminosäuren besitzen eine

spezifische Grundstruktur und unterscheiden sich anhand ihres polaren oder unpolaren Restes. Aminosäuren sind über Carboxyl- ($-\text{CO}_2\text{H}$) oder Aminogruppen ($-\text{NH}_2$), miteinander verbunden. Aminosäuren liegen meist in einer gefalteten bzw. geknäulten Struktur vor. Die Reste können daher nach innen oder außen zeigen. Anhand dieser Ausrichtung lässt sich feststellen, welche chemischen und physikalischen Eigenschaften die Aminosäuren besitzen (Erling und Botterbrodt 2008). Bei den Getreideproteinen erfolgt die Einteilung über die Löslichkeit. Im Jahr 1907 veröffentlichte T. B. Osborne seine Ergebnisse zum Löslichkeitsverhalten der Weizenproteine. Die Einteilung hat bis heute Bestand. Er unterschied in vier unterschiedliche Fraktionen (**Tabelle 2**). Die Albumine lösen sich in Wasser und die Globuline werden in salzhaltigem Wasser gelöst.

Tabelle 2: Protein-Fractionen nach Osborne und deren Anteile am Gesamt-Protein (Belitz et al. 2008; Osborne 1907)

Fraktion	Bezeichnung für Weizenfraktionen	Proteinanteil (%)	Löslichkeit nach Osborne 1907
Albumin	Leukosin	14,7	H ₂ O
Globulin	Edestin	7,0	NaCl
Prolamin	Gliadin	32,6	Ethanol
Glutelin	Glutenin	45,7	1-Propanol

Beide Fraktionen zählen zu den Strukturproteinen. Diese machen ca. 20 % des Gesamtproteins aus. Prolamine, die beim Weizen Gliadine genannt werden, können in 70 prozentigem Ethanol gelöst werden. Die letzte Fraktion bilden die Gluteline, beim Weizen als Glutenine bezeichnet. Die Glutenine sind unlöslich in Ethanol (Osborne 1907). Allerdings können die Glutenine mithilfe von Essigsäure und Zentrifugation in ihre hoch- und niedermolekularen Untereinheiten aufgetrennt werden (Rimbach et al. 2015). Gliadine und Glutenine sind Speicherproteine und bilden die Unterfraktionen des Klebereiweißes. Sie sind die Hauptkomponenten des Glutens und für 80 % des Gesamtproteins verantwortlich. Das Verhältnis zwischen Gliadin und Glutenin liegt bei etwa 1:1 (Belitz et al. 2008).

2.2.4 Zusammensetzung der Kleberproteine

Durch die besonderen Eigenschaften des Glutens können kohäsive und viskoelastische Weizenteige hergestellt werden. Beide Untereinheiten sind hydrophob. Sie besitzen allerdings eine sehr voneinander abweichende Struktur (Sciarini et al. 2010). Gliadine sind monomer aufgebaut, wohingegen Glutenine eine polymere Struktur aufweisen. Weiterhin unterscheiden sich die beiden Subfraktionen in ihrem Molekulargewicht (MW) und in ihren physikalischen Eigenschaften (Costa et al. 2013). Während der Teigherstellung fungieren die Gliadine als Lösungsmittel für die Glutenine. Die Weizen-Prolamine sind für die Viskosität des Teiges verantwortlich. Im Gegensatz dazu beeinflussen die Glutenine die Elastizität und Festigkeit des Teiges (Grosch, W., Wieser, H. 1999). Mithilfe der RP-HPLC lassen sich die Gliadine in vier Gruppen ω 5-, ω 1,2-, α/β - und γ -Formen, mit einer atomaren Masse von 28.000 bis 55.000 u, auftrennen (Wieser 2007, 1996). Gliadine enthalten nur intramolekulare Disulfidbrückenbindungen und bilden somit keine Aggregate aus (Dubcovsky et al. 1997). Die Glutenine weisen ein deutlich höheres MW von 500.000 bis 10.000.000 auf. Sie sind über intermolekulare Disulfidbrücken miteinander verbunden. Die α/β - und γ -Gliadine sind Hauptkomponenten des Glutens. Gemeinsam bilden sie einen Anteil ca. 50-60 % (Wieser und Kieffer 2001) (**Abbildung 2**). Innerhalb der Glutenine wird zwischen den hochmolekularen (engl.: high-molecular-weight (HMW)) und den niedermolekularen Untereinheiten (engl.: low-molecular-weight (LMW)) unterschieden (**Abbildung 2**). Die LMW-Einheiten sind für 20 % des Gesamt-Glutens verantwortlich (Wieser und Kieffer 2001). Im Vergleich dazu besteht das Klebereiweiß nur aus 10 %

der HMW-Einheiten. Die HMW-Glutene können wiederum in x- (MW: 83.000-88.000) und y-Form (MW: 67.000-74.000) unterschieden werden (Shewry et al. 1992). Die HMW-Einheiten machen zwar nur einen geringen Anteil am Gesamt-Gluten aus, sind aber von zentraler Bedeutung für die Backfähigkeit. Sie korrelieren besser mit den Backeigenschaften als die anderen Kleberproteine. Nicht kovalente Bindungen sind unerlässlich für die Verknüpfung zwischen Gliadinen und Gluteninen (Wieser 2007).

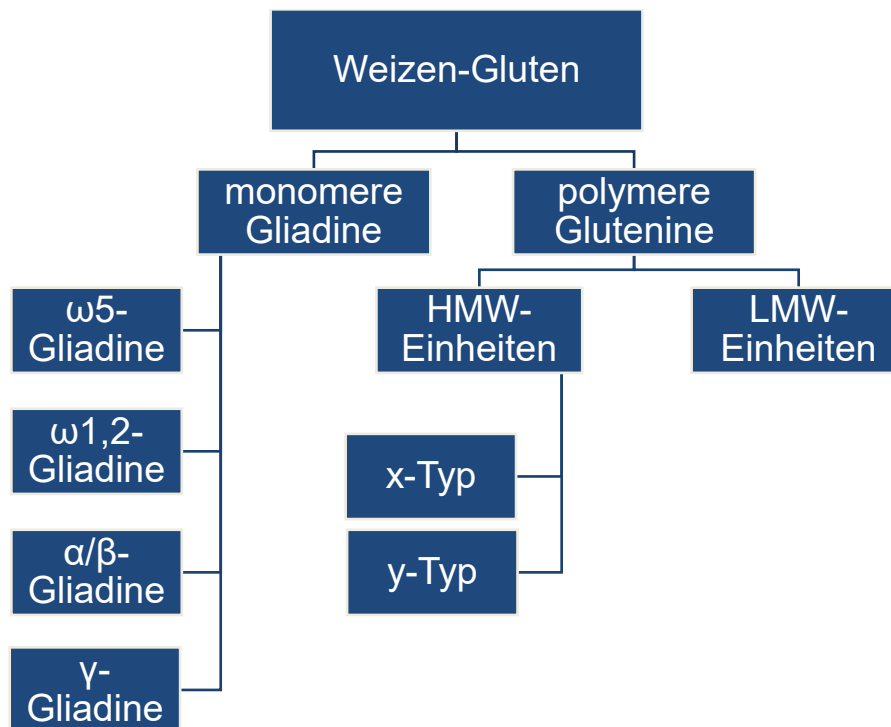


Abbildung 2: Zusammensetzung des Klebereiweißes (modifiziert nach Shewry et al. 1986)

2.2.5 Funktionen der Kleberproteine während der Teigentwicklung

Wieser und Kieffer (2001) stellten fest, dass die Zusammensetzung des Glutenins einer der Hauptparameter für Teigeigenschaften und Backfähigkeit ist. Die Teigbildung und –entwicklung stellen einen multifaktoriellen Prozess dar, der von vielen Einflussgrößen bestimmt wird (Lindhauer et al. 2017). Die Teigentwicklung umfasst mehrere Prozessabschnitte. Diese Phasen sind entscheidend für die darauffolgende Weiterverarbeitung bis zum fertigen Gebäck.

Im Mehl sind die Stärkekörner von Klebereiweißen umgeben. Wird dem Mehl Wasser zugeführt, bildet sich unter der Zufuhr von mechanischer Energie, dem Kneten, zu Beginn eine netzartige Struktur aus (**Abbildung 3**) (Belitz et al. 2008; Lindhauer et al. 2017). Ab einem Wasseranteil von 35 % beginnt die Teigbildung (Lindhauer et al. 2017). Durch den weiteren Knetvorgang werden die Proteine in einen engeren Kontakt gebracht und zu größeren Netzwerken aggregiert (**Abbildung 4**). Je höher der Glutenin-Gehalt im Mehl ist, desto mehr Wasser kann der Teig aufnehmen, was zu einer erhöhten Teigausbeute führt (Eckert et al. 1993). Eine hohe Wasseraufnahmekapazität begünstigt die Mobilität der Reaktionspartner im Teig. Das

hinzugefügte Wasser wird im Zuge der Teigbildung durch die Quellung und die Aggregation der Proteine gebunden. Dabei entsteht ein Netzwerk aus Klebereiweiß. Mit zunehmender Knetdauer werden die Interaktionen innerhalb des Glutens größer, dadurch nimmt die Dichte der Strukturen immer weiter bis zum Knetzeitoptimum zu (Belitz et al. 2008). In diesem Zustand erreicht die Struktur die bestmögliche Festigkeit (**Abbildung 5**). Die Teigfestigkeit wird von den elastischen und den viskosen Eigenschaften des Teiges bestimmt. Teige mit einer hohen Teigfestigkeit zeichnen sich durch lange Teigentwicklungszeiten und hohe Dehnwiderstände (Teigresistenz) aus (Fido et al. 1997). Der Knetvorgang sorgt grundsätzlich dafür, dass die entstehende Matrix gedehnt und gedrückt wird, sodass sie möglichst fein und gleichmäßig im Teig verteilt vorliegt (Lindhauer et al. 2017). Das entstandene Klebergerüst ist für das Gashaltevermögen im Teig verantwortlich (Belitz et al. 2008). Der Abbau von Stärke durch Alpha- und Beta-Amylasen zu Malzzucker stellt die Nahrungsgrundlage für die Backhefen sicher. Diese verstoffwechseln den Zucker zu Kohlendioxid (CO₂) und Alkohol. Während der Fermentation durch die Hefe verdrängt das entstandene CO₂ den Sauerstoff im Teig (O₂). Die Hefen sorgen für die Lockerung des Weizenteiges.

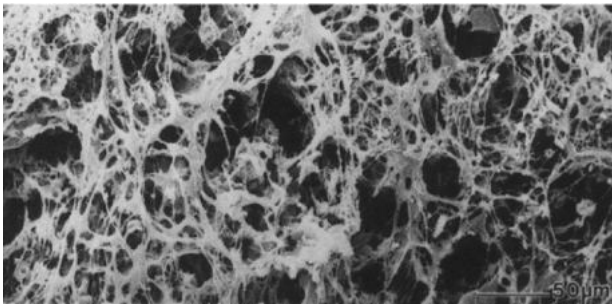


Abbildung 3: Noch ungedehnte Proteinstruktur zu Beginn des Knetprozesses (Stärke wurde entfernt) (mod. nach Belitz et al. 2008)



Abbildung 4: Gekneteter Teig mit gedehntem Netzwerk mit beginnender Filmbildung zwischen den Proteinsträngen (mod. nach Belitz et al. 2008)

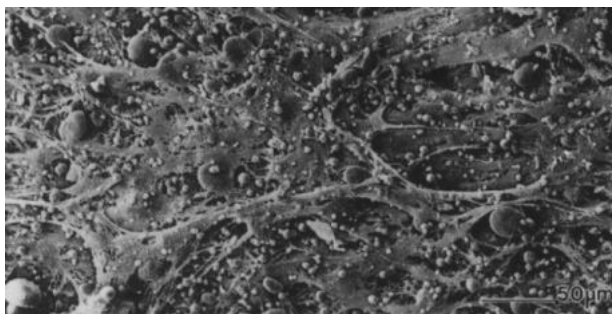


Abbildung 5: Struktur eines optimal gekneteten Teiges (mod. nach Belitz et al. 2008)

2.2.6 Glutenin-Makropolymer

Das Glutenin-Makropolymer (GMP) wird auch als Unextractable Polymeric Protein (UPP), SDS-Insoluble Gel-Forming Glutenin oder als Gelprotein bezeichnet (Moonen et al. 1982; Gupta et al. 1993; Graveland 1980). Das GMP ist ein Bestandteil des Glutenins, der in SDS unlöslich ist (Moonen et al. 1982). Es setzt sich aus HMW- und LMW-Einheiten zusammen, die über intermolekulare Disulfidbrückenbindungen miteinander verbunden sind (Ewart 1979; Wrigley 1996; Song und Zheng 2007; Skerrett et al. 1999). GMP gilt als das größte in der Natur vorkommende Biopolymer, mit einer Molekularmasse von fünf bis 20 Mio. u (Wrigley 1996) bzw. 80 bis 120 kDa (Don et al. 2003). Laut einiger Studien soll GMP mit der Teigfestigkeit und dem Brotvolumen eng korrelieren (Moonen et al. 1982; Thanhaeuser et al. 2014a; Weegels et al. 1996b).

2.3 Stickstoff-Düngung beim Backweizen

2.3.1 N-Bedarf und zeitlicher Verlauf der N-Aufnahme

In hiesigen Breitengraden wird der Qualitätsweizen in der Regel zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten gedüngt (**Abbildung 6**). Zum einen um eine optimale Ährendichte zu erreichen und zum anderen, um N-Verluste, wie Nitratauswaschung in das Grundwasser zu vermeiden (Kage und Baumgärtel 2009). Für das Düngungs-Management wird die N_{\min} -Sollwertmethode zur Bestimmung des N-Bedarfes herangezogen (Wehrmann und Scharpf 1979). Hierbei wird für die Andüngung im Frühjahr ein Sollwert vom 120 kg N/ha veranschlagt. Davon wird der ermittelte N_{\min} -Wert, z.B. 40 kg N/ha, abgezogen, sodass 80 kg N/ha als Düngemenge anvisiert werden sollten. Mithilfe der ersten Gabe soll während der Bestockung eine gute Nährstoffversorgung für eine ausreichende Triebanzahl gewährleistet werden. In der Phase der Bestockung entwickelt sich das sekundäre Wurzelsystem, die Adventivwurzeln. Diese sind in der Lage, größere Mengen an Stickstoff aufzunehmen. Die Anzahl an Bestockungstrieben ist positiv mit der Nährstoffversorgung korreliert (Geisler 1983). Da der Weizen im Herbst nur eine geringe N-Menge von ca. 10-30 kg N/ha aufnimmt, die aus dem Bodenvorrat gedeckt werden kann, erfolgt die erste Gabe zu Vegetationsbeginn im nachfolgenden Frühjahr (Reiner 1992). Während der Bestockung wird die Bildung von vegetativen Anlagen (max. Anzahl an Blättern, Nodien und Internodien) abgeschlossen und wechselt in die generative Phase (Blütenanlagen). Der Übergang wird als Doppelringstadium (engl. double ridges) bezeichnet. Bei unzureichender Nährstoff- oder Wasserversorgung wird die Bestockungsleistung vermindert, sodass weniger Nebentriebe gebildet werden (Christen 2009). Die Folge von unzureichender N-Verfügbarkeit sind dünnere Bestände. Diese Ertragskomponente kann sich somit negativ auf den Kornertrag auswirken (Geisler 1983).

Die Schossphase stellt die Hauptwachstumsphase dar (Geisler 1983). Zu Beginn des Schossens bzw. des Längenwachstums (ES 31) wird die zweite N-Gabe mit ca. 40-60

kg N/ha angesetzt. Die Höhe ist abhängig von der Bestandesentwicklung und dem N-Nachlieferungsvermögen des Bodens (Haumann et al. 2000). Dadurch soll eine übermäßige Triebreduktion, aufgrund von Konkurrenz um Nährstoffe, vermieden werden (Maidl et al. 1998). Das Schossen ist tageslängenabhängig. Erst unter Langtagbedingungen, ab ca. 13 bis 14 Stunden, beginnt der Weizen mit dem Streckungswachstum (Schönberger 2006; Brouwer 1972). In dieser Phase strecken sich die Internodien, beginnend mit dem untersten Halmglied, das die geringste Länge im Vergleich zu den anderen Internodien aufweist (Geisler 1983, Haumann et al. 2000). Parallel wird die Ährenanlage, die sich in dieser Zeit im Einzelnen differenziert, im Halm nach oben geschoben (Geisler 1983). Aufgrund der rasanten Biomassebildung werden in der Schossphase sehr hohe N-Mengen benötigt. Besonders in der späten Schossphase können 6 kg N/ha und Tag bzw. 40 kg N/ha und Woche aufgenommen werden (Kage und Baumgärtel 2009). Daher kommt es durch eine unzureichende Nährstoffversorgung zu einer Reduzierung der Anzahl an Ährchen pro Ähre und zusätzlich einer verminderten Anzahl an Blüten pro Ährchen, wodurch weniger Körner pro Ähre gebildet werden. Die Reduktionsprozesse finden hauptsächlich im unteren Bereich der Ähre statt. Zum Ende der Schossphase, kurz vor dem Ährenschieben, ist das Maximum der photosynthetisch aktiven Blattmasse erreicht. Das spiegelt sich auch im Blattflächenindex wider, der zu diesem Zeitpunkt den Maximalwert von 6 – 7 m² Blattfläche pro m² Boden erreicht. Danach nimmt er stetig ab, was auf das Absterben der unteren Blätter zurückzuführen ist (Geisler 1983). Weizen akkumuliert 50 – 70 % des Stickstoffs vor der Blüte und verlagert den Stickstoff während der Kornfüllungsphase in die Ähren (Triboi et al. 2002).

In diesem Zeitraum, zwischen dem Erscheinen des vollentwickelten Fahnenblattes (ES 39) und dem Ährenschieben (ES 49), je nach standorttypischen klimatischen Gegebenheiten, wie die Niederschlagsverteilung, wird die letzte Gabe appliziert. Die sogenannte Spät- oder Qualitätsgabe soll die Korngröße, gemessen als TKM, erhöhen und die Eiweißgehalte in den Körnern fördern (Wieser und Seilmeier 1998). Für die letzte Gabe werden 60 – 80 kg N/ha angesetzt. Die Düngung zum Zeitpunkt des Ährenschiebens wirkt sich eher auf die Kornbildung und -füllung aus. Im Vergleich dazu begünstigt eine spätere N-Gabe zur Blüte eine Steigerung der Proteingehalte. Allerdings sollte diese Düngung mit Fingerspitzengefühl angegangen werden, um hohe N-Restmengen zu vermeiden (Schönberger 2006). Eine besonders empfindliche Phase für die Nährstoffversorgung liegt zwischen dem Ährenschieben und der Blüte. Die Weizen-Blüte dauert ca. eine Woche und stellt eine sehr sensible Phase dar. Hier spielt die Wasserverfügbarkeit eine besonders wichtige Rolle. Durch Wassermangel können erneut Reduktionsprozesse einsetzen, welche die Anzahl an fertilen Blüten schmälert (Geisler 1983). Die optimalen Bedingungen liegen im Temperaturbereich von 20 – 25°C und bei einer Luftfeuchte von 60 – 70% (Haumann et al. 2000).

In etwa zwei bis drei Wochen nach der Vollblüte kommt es zur verstärkten Einlagerung von Stärke und Protein in das Korn. Dabei ist zu berücksichtigen, dass während der Kornfüllungsphase die N-Remobilisierung aus anderen Pflanzenteilen den vorrangigen Prozess darstellt. Es werden lediglich 20 % des gesamten N-Bedarfs

während dieser Zeit aufgenommen (Borghi 1999). Besonders vorteilhaft ist dabei eine lange Einlagerungsphase (Geisler 1983).

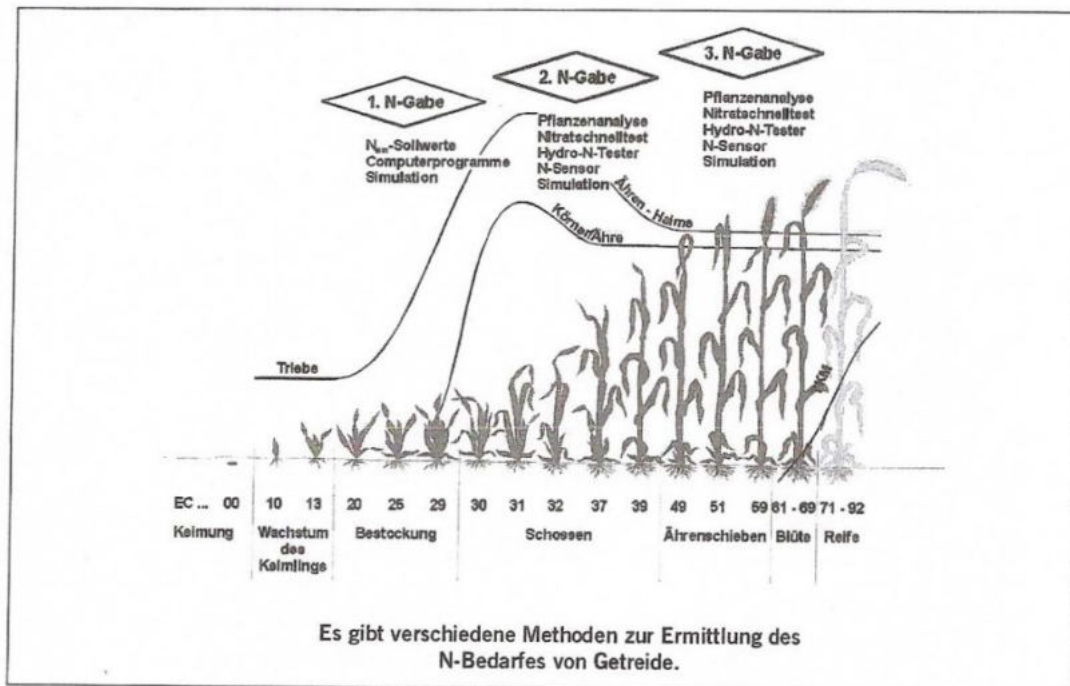


Abbildung 6: N-Düngung beim Winterweizen in Abhängigkeit der Entwicklungsstadien (Knittel et al. 2012)

2.3.2 Bedeutung der N-Form für den Backweizen

Stickstoff gilt als wichtigster Nährstoff für die Pflanzen und fördert maßgeblich das Wachstum und die Biomassebildung. Die Pflanze ist in der Lage, Stickstoff in verschiedenen Formen aufzunehmen. Über die Wurzeln kann sie aus dem Boden Nitrat, Ammonium und Harnstoff aufnehmen (Knittel et al. 2012). Der größte Anteil an pflanzenverfügbarem Stickstoff wird in Form von Nitrat aufgenommen, da NO_3^- sehr mobil im Boden ist und nicht wie Ammonium von Bodenkolloiden gebunden werden kann. Durch diese hohe Beweglichkeit hat Nitrat ein hohes Auswaschungspotential (Kage und Baumgärtel 2009; Knittel et al. 2012). Damit die Pflanze das Nitrat in ihrem Stoffwechsel verwenden kann, muss zuerst eine Reduktion zu Ammonium unter Energieverbrauch stattfinden. Nitrat kann allerdings auch zu Amiden, oder Aminosäuren, umgewandelt werden. Wird ein ammoniumbasierter Dünger appliziert, kann dieser bei einer Bodentemperatur von 15°C innerhalb von drei Tagen komplett zu Nitrat umgewandelt werden. Der Prozess ist temperaturabhängig und wird durch hohe Temperaturen beschleunigt (Knittel et al. 2012). Der Nitrifikationsvorgang lässt sich durch die Beigabe von Nitrifikationsinhibitoren erheblich verlangsamen. Diese Dünger werden als stabilisierte Dünger bezeichnet und können die Anzahl an N-Gaben reduzieren (Kage und Baumgärtel 2009).

Eine weitere Möglichkeit stellt die Harnstoffdüngung dar, die verglichen mit Nitrat und Ammonium deutlich langsamer wirkt. Nach der Ausbringung steigt der pH-Wert im Boden an. Dies erhöht das Potenzial, besonders bei Trockenheit, von volatilen Verlusten in Form von Ammoniak (NH_3). Unter diesen Bedingungen wandelt das

Enzym Urease Harnstoff in das gasförmige Ammoniak um, dass so in die Atmosphäre entweicht. Dabei können 15-30 % verloren gehen. Aufgrund dieser Problematik sollten Maßnahmen ergriffen werden, welche die gasförmigen Verluste erheblich reduzieren (z.B. die Einarbeitung in den Boden, Ausbringen nur unter feuchten Bedingungen bzw. kurz vor Niederschlagsereignissen) (Knittel et al. 2012).

Eine weitere Möglichkeit, die rasche Nitrifikation von Ammonium zu verhindern, ist die Verwendung des CULTAN-Verfahrens (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition). Hierbei wird ein hochkonzentriertes Ammoniumdepot in Wurzelnähe mithilfe eines Sternrades appliziert (**Abbildung 7**) (Sommer 2005). Das Depot wird in einer Tiefe von 6-10 cm abgelegt (Boelcke 2000). Die CULTAN-Düngung soll deutlich später als die übliche erste Gabe appliziert werden, damit die Pflanzen in das Wurzelwachstum investieren (Schulz et al. 2015). Laut Weimar (2001) soll die Düngung erst erfolgen, wenn ein latenter N-Mangel optisch erkennbar wird. Durch dieses Hinauszögern soll der phytohormonelle Status Richtung generativer Phase verschoben werden. Dies begünstigt die Anlage von stärkeren Haupttrieben (Sommer et al. 1976). Diese Form der Nährstoffzufuhr soll eine höhere Effizienz aufweisen, da NH_4^+ ohne Umwandlungsprozesse direkt von der Pflanze genutzt werden kann (Sommer 2005). Wie bereits erwähnt, ist Ammonium weniger mobil im Boden, da es in Tonmineralen und organischer Substanz gebunden ist (Sommer 2003). Somit müssen die Wurzeln zur Nährstoffquelle hinwachsen (Knittel et al. 2012). Des Weiteren verhindert die Toxizität des hochkonzentrierten Ammoniums den Abbau durch Bakterien zu Nitrat (Sommer 2003). Je höher die Ammoniumkonzentration, desto stabiler ist das N-Depot gegenüber mikrobiellen Abbau und kann über mehrere Wochen genutzt werden (Mokry 2013).



Abbildung 7: Injektionsvorrichtung des CULTAN-Verfahrens im Weizenbestand (oben); Injektionsdüse, die in den Boden einsticht und die DüngeLösung appliziert (unten) (J. Hees)

2.3.3 Nutzung von Vegetationsindices zur Unterstützung der Ertragsvorhersage

Um den Stickstoffbedarf und die Biomasseentwicklung von Kulturpflanzen zu prognostizieren, werden gegenwärtig verschiedene Messmethoden entwickelt. Ziel ist es, die N-Düngung, sowie den PSM-Einsatz, teilflächenspezifisch optimal auszubringen und somit bestehende Bodenunterschiede zu berücksichtigen. In der praktischen Landwirtschaft werden daher optische Sensoren eingesetzt, die den Ernährungszustand mithilfe von Algorithmen mehr oder weniger exakt vorhersagen können. Hierfür wurden einfache Spektralindices, sogenannte Vegetationsindices (VI), die aus Differenzen oder Quotienten verschiedener Wellenlängen berechnet werden, entwickelt (Schächtle und Maidl 2004). Das Lichtspektrum ist in mehrere Wellenlängenbereiche eingeteilt, die in **Abbildung 8** dargestellt sind. Der Pflanzenbestand reagiert auf jeden Wellenlängenbereich des Lichtspektrums mit spezifischen Reflexionseigenschaften. Im Ackerbau werden Wellenlängen im Bereich von 400 bis 1000 nm gemessen. Dabei werden drei unterschiedliche Werte ermittelt, der Reflexions-, der Absorptions- und der Transmissionsgrad. Der Reflexionsgrad beschreibt den Anteil an Licht, der von einem Objekt zurückgeworfen wird. Der Absorptionsgrad ist die Energiemenge, die von einem Objekt aufgenommen wird. Der Transmissionsgrad definiert die Energiemenge, die durch ein Objekt hindurchscheint. Diese drei Bausteine wirken sich auf Pflanzenbestände unterschiedlich aus und weisen wellenlängenspezifische Eigenschaften auf (Lilienthal 2014). Im sichtbaren Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm sind hauptsächlich die Pflanzenpigmente, wie Chlorophylle, Carotinoide und Anthocyane für die Absorption verantwortlich.

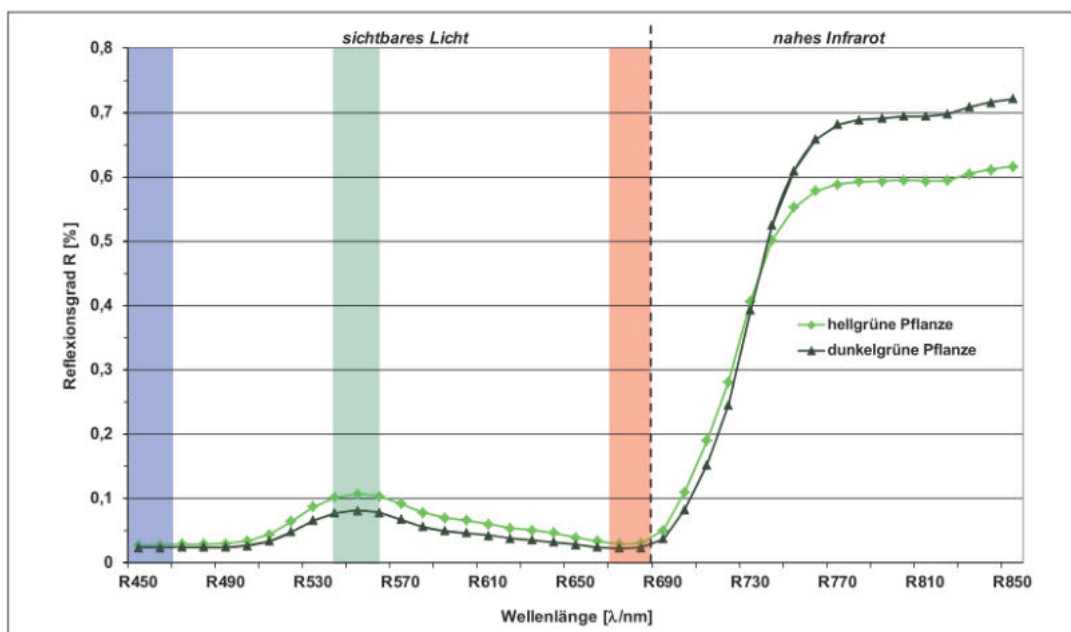


Abbildung 8: Reflektionsspektren und zu messende Farbbereiche im sichtbaren und nahen Infrarot-Bereich (Reckleben 2004)

Für die Photosynthese wird bevorzugt blaues und rotes Licht von Chlorophyll a (430/660 nm) und Chlorophyll b (450/640 nm) absorbiert. Wohingegen das grüne Licht deutlich weniger stark aufgenommen und folglich stärker reflektiert wird. Aus diesem

Grund wirken Pflanzen auf das menschliche Auge grün (Verdebout et al. 2007). Allerdings hat das Vorhandensein von Chlorophyll keinen Einfluss auf die Reflexion im nahen infraroten Wellenlängenbereich (700 – 1100 nm). Verantwortlich für den hohen Reflexionsgrad ist die Blattstruktur (Knipling 1970). Durch den Aufbau und die stoffliche Zusammensetzung des Blattes weisen unterschiedliche Pflanzenarten, sowie Pflanzen einer Art, zu verschiedenen Terminen sehr unterschiedliche spektrale Eigenschaften auf (Schellberg 1990). Für den Pflanzenbestand im Vergleich zur Einzelpflanze wird die Betrachtung noch etwas komplexer. Hier wirken Faktoren wie Stellung, Größe, Position und Oberflächenbeschaffenheit der Blätter, sowie die Dichte des Bestandes auf die Reflexionssignatur ein (Erasmi 2002). Des Weiteren hat auch das Verhältnis zwischen Pflanzen und unbedecktem Boden einen Einfluss. Während der Schossphase nimmt die Biomasse stark zu und der Boden wird mehrfach durch Blattfläche überdeckt. Das sichtbare Licht wird überwiegend in den oberen Blattetagen absorbiert und geringfügig reflektiert. Lichtstrahlung im Nah-Infrarot-Bereich kann wesentlich tiefer in den Bestand eindringen, da der Transmissionsgrad erheblich höher ist. Das bedeutet, dass mit steigendem LAI mehr Licht aus dem Infrarot Bereich reflektiert wird. Im Gegensatz dazu ändert sich ab einem LAI von ca. 2 m² Blattfläche pro m² Boden, im Bereich des sichtbaren Lichtes, kaum etwas an der Spektralsignatur.

Um nun Aussagen über den Pflanzenbestand treffen zu können, müssen die auffälligen Wellenlängenbereiche, einerseits die starke Absorption des Chlorophylls bei 670 nm und andererseits die hohe Reflexion ab 770 nm im Bezug zueinander gesetzt werden (Lilienthal 2014). Einer der bekanntesten Vegetationsindices ist der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), der von einem voraus gegangenen Index, dem Simple Ratio (SR) (NIR-Red), abgeleitet wurde (Jordan 1969). Im Vergleich zu SR kann der NDVI standortübergreifend genutzt und verglichen werden (Rouse et al. 1974). Ein Nachteil des NDVI ist, dass er nicht zu einem sehr frühen Vegetationszeitpunkt mit geringer Bodenbedeckung eingesetzt werden kann, da er unbedeckten Boden nicht berücksichtigt. Daher wurde die Berechnung angepasst und ein neuer Index der Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) entwickelt (Huete 1988). Darüber hinaus wurde auch der Spektralbereich zwischen 670 und 770 nm, der auch als Wendepunkt oder „Red Edge“ bezeichnet wird, in verschiedene Indices mit aufgenommen. Wie z.B. beim Normalized Difference Red Edge (NDRE) (Barnes et al. 2000) (**Tabelle 3**).

Einige dieser Vegetationsindices finden bereits Anwendung in der Praxis in Form von Stickstoff-Sensoren. Aktuelle Erkenntnisse zeigen, dass Indices, die außer dem roten und infraroten Bereich auch andere Spektralbereiche oder mehr als zwei Wellenlängen nutzen, eine engere Beziehung zu Vegetationsparametern wie Biomasse, LAI oder N-Gehalt aufweisen (Lilienthal 2014).

Tabelle 3: Wichtigste Vegetationsindices, die in landwirtschaftlichen N-Sensoren verwendet werden (verändert nach Lilienthal 2014)

Index	Formel	Wertebereich	Quelle	Sensor
Simple Ratio (SR, IR/R)	$\frac{\rho \text{ NIR}}{\rho \text{ Rot}}$	0 – 100	Jordan 1969	N-Sensor®, CropSpec
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$\frac{\rho \text{ NIR} - \rho \text{ Rot}}{\rho \text{ NIR} + \rho \text{ Rot}}$	-1 – +1	Rouse et al. 1974	Greenseeker®, Crop Sensor, Crop Circle™
Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$\frac{\rho \text{ NIR} - \rho \text{ Rot}}{\rho \text{ NIR} + \rho \text{ Rot} + 0,5} \times 1,5$	-1 – +1,5	Huete 1988	Crop Circle™
Normalized Difference Red Edge (NDRE)	$\frac{\rho \text{ NIR} - \rho 730}{\rho \text{ NIR} + \rho 730}$	-1 – +1	Barnes et al. 2000	Crop Circle™
Red Edge Inflection Point (REIP)	$700 + 40 \times \frac{(\frac{\rho 670 + \rho 780}{2}) - \rho 700}{\rho 740 - \rho 700}$	700 – 760	Guyot et al. 1988	N-Sensor®, Isaria®, CropSpec

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsstandorte

Die Weizen-Parzellenversuche wurden an zwei Standorten durchgeführt. Zum einen in der Versuchsstation Gießen und zum anderen in der Versuchsstation Rauschholzhausen, in der Gemeinde Ebsdorfergrund. Die Versuche wurden in drei aufeinanderfolgenden Jahren 2016 bis 2018 angelegt.

3.1.1 Versuchsstation Gießen

Die Versuche wurden in der landwirtschaftlichen Lehr- und Forschungseinrichtung „Weilburger Grenze“ der JLU in Gießen durchgeführt. Die Versuchsstation liegt auf einer Höhe von 158 m über NN (50° 36' 6.545" N; 8° 39' 12.564" E). Der vorherrschende Bodentyp entspricht einem Fluvic Gleyic Cambisol (FAO 2014), der typisch für Auen und Flusstäler ist. Als Bodenart ist hier schluffiger Ton (uT) zu finden. Er enthält 28-33 % Ton und eine nutzbare Feldkapazität von 123 mm in 1 m Tiefe. Es wird eine durchschnittliche Ackerzahl von 65 am Standort erreicht.

Witterung

Tabelle 4: Niederschlagssummen und mittlere Lufttemperatur am Standort Gießen "Weilburger Grenze"

Vegetationsperiode (Oktober-September Folgejahr)	Niederschlags-summe/ Jahr [mm]	Lufttemperatur/ Jahr [°C]
2015-16	550	11,1
2016-17	654	10,0
2017-18	659	11,2
1960-2014	667	9,2

In **Tabelle 4** sind die Jahresmittelwerte der Witterungsdaten für die untersuchten Anbaujahre und des vieljährigen Mittels aufgezeigt. Auf den ersten Blick ist zu erkennen, dass die Lufttemperatur in allen drei Versuchsjahren über dem vieljährigen Mittel lag. Die Niederschlagssummen wiesen eine gewisse Streuung auf und lagen meist unter dem vieljährigen Mittel. Um die Auswirkungen der Witterung auf die Pflanzen umfassender zu betrachten, sind nachfolgend die Monatsdaten für die einzelnen Versuchsperioden zum einen für den Parameter Niederschlag (**Abbildung 9**) und zum anderen für die durchschnittliche Temperatur (**Abbildung 10**) dargestellt.

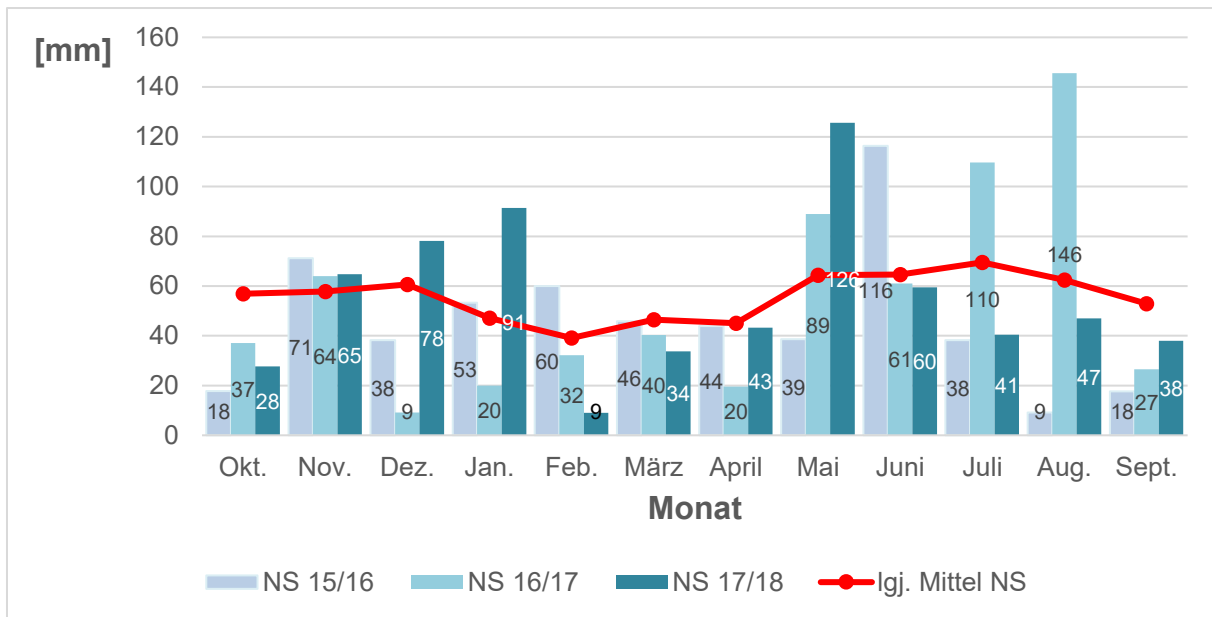


Abbildung 9: Monatliche Niederschlagsmengen der drei Versuchsperioden und des langjährigen Mittels (1960-2014) am Standort Gießen „Weilburger Grenze“.

Zu erkennen ist, dass am Standort Gießen die Niederschlagsmengen im langjährigen Mittel relativ gleichmäßig über die Monate verteilt waren. Für das erste Versuchsjahr 2015/16 zeichnete sich ein deutlicher Rückgang an Regen ab (-117 mm) (**Abbildung 9**). Außerdem wies das Wirtschaftsjahr 2015/16 eine veränderte Niederschlagsverteilung im Vergleich zum langjährigen Mittel auf.

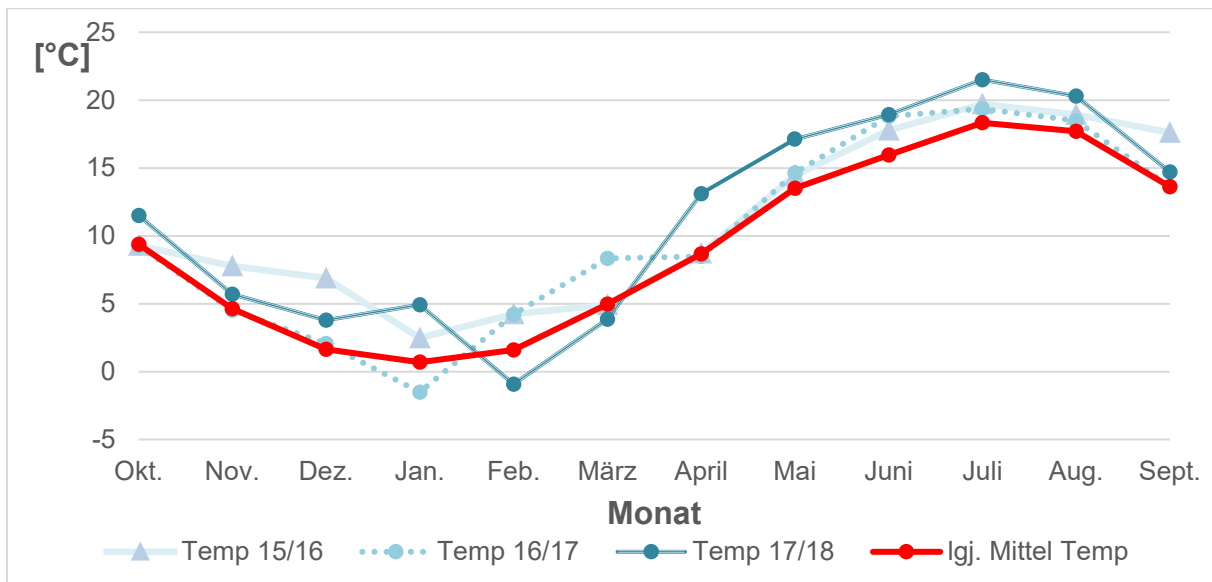


Abbildung 10: Temperaturverläufe der drei Versuchsperioden und des langjährigen Mittels (1960-2014) am Standort Gießen „Weilburger Grenze“.

Eine weitere Auffälligkeit stellt der Temperaturanstieg über die gesamte Vegetationsperiode dar (**Abbildung 10**). Die Herbst- und Wintermonate 2015 waren vergleichsweise mild. Außerdem war der Dezember 2015 der wärmste seit Beginn der Wetteraufzeichnung (DWD 2016a). Daher kam das Pflanzenwachstum erst Ende Januar zum Stillstand und wurde Mitte Februar aufgrund sehr milder Temperaturen

wieder unterbrochen. Besonders in den Wintermonaten Januar und Februar fiel nachweislich mehr Niederschlag, als im vieljährigen Mittel. Bis zum Ende des Winters konnte der Boden ausreichend mit Wasser gefüllt werden, z.B. Hessen 101% nFK (BMEL 2016). Darüber hinaus sorgten die hohen Niederschläge für die Nichtbefahrbarkeit vieler Böden im Frühjahr (BMEL 2016).

Am Standort Gießen waren der März und April unauffällig und wiesen ähnliche Werte für die Niederschlagsmenge und die Temperatur im Vergleich zum vieljährigen Mittel auf. Im Frühjahr 2016 verlief die Entwicklung der Pflanzen recht langsam. Im Vergleich zur Referenzperiode war der Mai zu trocken und zu warm (DWD 14.06.2016). In der 3. Maidekade schob der Weizen die Ähren und es kam vermehrt zu starken Regenfällen und Gewittern. Auffällig waren die hohen Niederschlagsmengen im Juni 2016, wodurch die einsetzende Blüte des Weizens vermutlich beeinträchtigt wurde. Die Monate Juli und August fielen hingegen deutlich trockener aus, was zu einer unproblematischen Ernte Anfang August führte. Insgesamt zeigte sich der Sommer deutlich wärmer, etwas niederschlagsreicher und mit durchschnittlicher Sonnenscheindauer (DWD 2016b).

Insgesamt wies das zweite Versuchsjahr 2016/17 eine vergleichbare Menge an Niederschlägen auf. Allerdings zeigte sich wiederholt eine stark abweichende Niederschlagsverteilung im Vergleich zum vieljährigen Mittel. Der Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017, ausgenommen der Monat November, fiel sehr trocken aus. Es sind knapp 40 % weniger Niederschlag in diesem Zeitabschnitt gefallen, als im vieljährigen Mittel. Daher mussten die Pflanzen aufgrund der Wasserknappheit von Beginn an mehr in die Wurzelbildung investieren. Die Temperaturen im Zeitraum von Oktober bis Dezember waren vergleichbar mit dem vieljährigen Mittel. Im Januar kam es zu einem deutlichen Kälteeinbruch. Februar und März waren dagegen deutlich wärmer und trockener im Vergleich zur Referenzperiode. Eine weitere Auswirkung des Niederschlagsdefizites waren



Abbildung 11: Hagelschaden an Weizenähren, Gießen Ende Juni 2017 (J. Hees)

sehr hohe N_{\min} -Werte im Frühjahr 2017. Im Mai kam es zu spürbar mehr Regenfällen und höheren Temperaturen als in der Zeitperiode 1960-2014. Der Juni präsentierte sich merklich trockener als im Vorjahr und vergleichbar mit dem vieljährigen Mittel. Weiterhin war ein extremer Temperaturanstieg im Vergleich zum vieljährigen Mittel zu beobachten (+ 2,6 °C). Die Temperaturen stiegen auf bis zu 33 °C an. Am 22. Juni kam es dann zu heftigen Hitzegewittern mit Hagel und Sturmböen, was den Pflanzenbestand in Gießen schädigte und sich auf den Kornertrag auswirkte (**Abbildung 11**). Vor und während der Ernte kam es zu anhaltenden Regenfällen kombiniert mit zu kurzen Abtrocknungsphasen, sodass es am Standort Gießen zu sichtbarem Auswuchs der Weizenkörner kam (**Abbildung 12**). Dies hatte erhebliche



Abbildung 12: Keimende Weizenkörner, Gießen August 2017 (J. Hees)

Auswirkungen auf die Qualität des Weizens. Wie auch in den zwei vergangenen Versuchsjahren zeigte die Vegetationsperiode 2017-18 eine auffällige Niederschlagsmenge und -verteilung. Die Herbst- und Wintermonate bis Ende Januar waren charakterisiert durch eine milde, nasse und teils sonnige Witterung (DWD 2017). Im Herbst kam es zu überdurchschnittlichem Niederschlag. Auf Basis von offiziellen Angaben des DWD lag die nutzbare Feldkapazität (nFK) für Hessen Ende November 2017 bei 90 % (DWD 2017). Die

Wintermonate wiesen ebenfalls erhöhte Niederschläge im Vergleich zum vieljährigen Mittel auf. Es bildeten sich teils große Pfützen auf den Feldern, was zu Sauerstoffmangel für die Pflanzen führte. Das Wachstum der Pflanzen kam erst im Februar durch erhebliche Bodenfröste bis in eine Tiefe von 20 bis 50 cm zum Erliegen (DWD 2018a). Auch der März präsentierte sich verhältnismäßig kühl.

Durch fehlende Niederschläge im Frühjahr sank die nFK bis Ende Mai auf 49 % ab (DWD 2018b). Die trockene und ungewöhnlich warme Witterung ab April führte zu einer explosionsartigen Entwicklung der Pflanzenwelt. Allerdings entstand durch das Niederschlagsdefizit für die Pflanzen merklicher Trockenstress. Die **Abbildung 13** veranschaulicht, dass es nur sehr wenige, dafür aber umso heftigere Regenfälle im Zeitraum März bis Juli, beispielhaft am Standort Gießen, gab. Besonders in der Zeitspanne von Ende Mai bis Mitte Juni kam es zu starken Unwettern mit heftigen Regenfällen. Die Blüte setzte Anfang Juni ein und wurde vermutlich durch die Regenfälle beeinträchtigt. Auch die Düngemaßnahmen und damit die Nährstoffverfügbarkeit für den Pflanzenbestand wurde allem Anschein nach durch die anhaltende Trockenheit eingeschränkt.

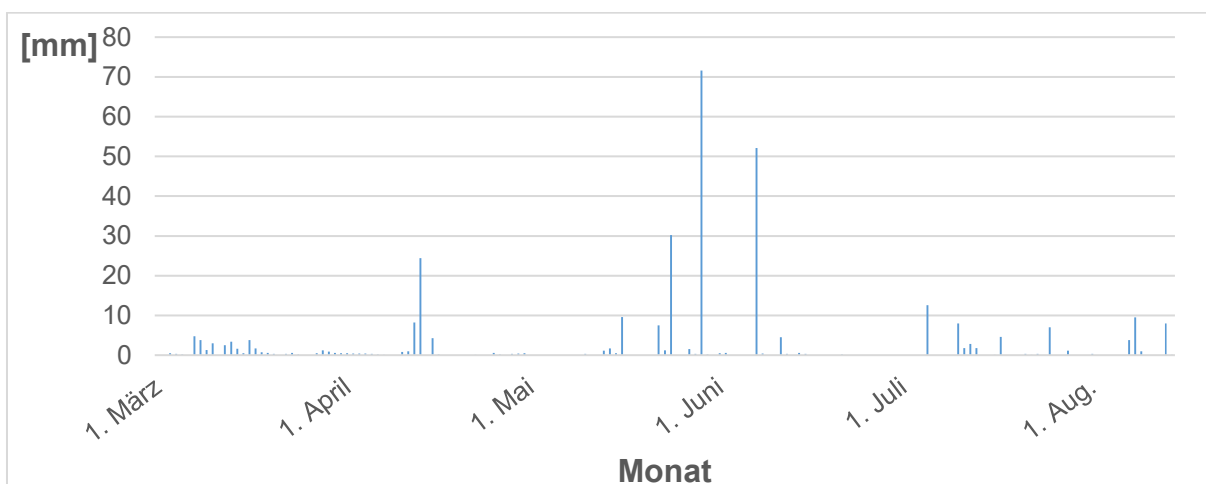


Abbildung 13: Tagesniederschläge im Zeitraum März bis August 2018 am Standort Gießen „Weilburger Grenze“

Die Witterungsverhältnisse führten zu einer verfrühten Weizenernte Ende Juli, ca. zwei Wochen vor dem üblichen Termin. Das Jahr 2018 galt im Bundesdurchschnitt als

zweitrockenstes und wärmstes Jahr seit der Wetteraufzeichnung (Friedrich und Kaspar 2019).

Abschließend kann festgestellt werden, dass die drei Versuchsjahre (2015/16; 2016/17; 2017/18), am Standort Gießen „Weilburger Grenze“, als sehr unterschiedlich zu bewerten sind. Jedes der Versuchsjahre zeigte markante Witterungscharakteristika, die von hohen Niederschlägen während der Ernte im Jahr 2017, bis zu langanhaltender Trockenheit mit Temperaturrekorden während der Hauptwachstumsphase im Jahr 2018 variierten.

3.1.2 Versuchsstation Rauschholzhausen

Die Parzellenversuche wurden in Rauschholzhausen (Gemeinde Ebsdorfergrund) durchgeführt. Die Gemeinde ist in der Talsenke des Amöneburger Beckens gelegen. Der Standort befindet sich 235 m über NN (50° 45' 39.283" N; 8° 52' 48.936" E). Der vorherrschende Bodentyp ist die erodierte Norm-Parabraunerde mit der Bodenart Lößlehm. Die Flächen wurden mit einer Ackerzahl von ca. 80 bewertet.

Witterung

Tabelle 5: Niederschlagssummen und mittlere Lufttemperaturen am Standort Rauschholzhausen

Vegetationsperiode (Oktober-September Folgejahr)	Niederschlagssumme/Jahr [mm]	Lufttemperatur/Jahr [°C]
2015-16	564	10,9
2016-17	596	9,7
2017-18	583	11,2
1948-2014	612	8,4

Die Jahreswitterungsdaten für den Versuchszeitraum und die Daten des vieljährigen Mittels sind in **Tabelle 5** dargestellt. Wie auch in Gießen lag die Jahresdurchschnittstemperatur in den drei Versuchsjahren oberhalb und die Niederschlagssumme unterhalb des Referenzzeitraumes. Nachfolgend werden die monatlichen Werte für den Niederschlag (**Abbildung 14**) und die Lufttemperatur (**Abbildung 15**) der Versuchsstation Rauschholzhausen aufgezeigt.

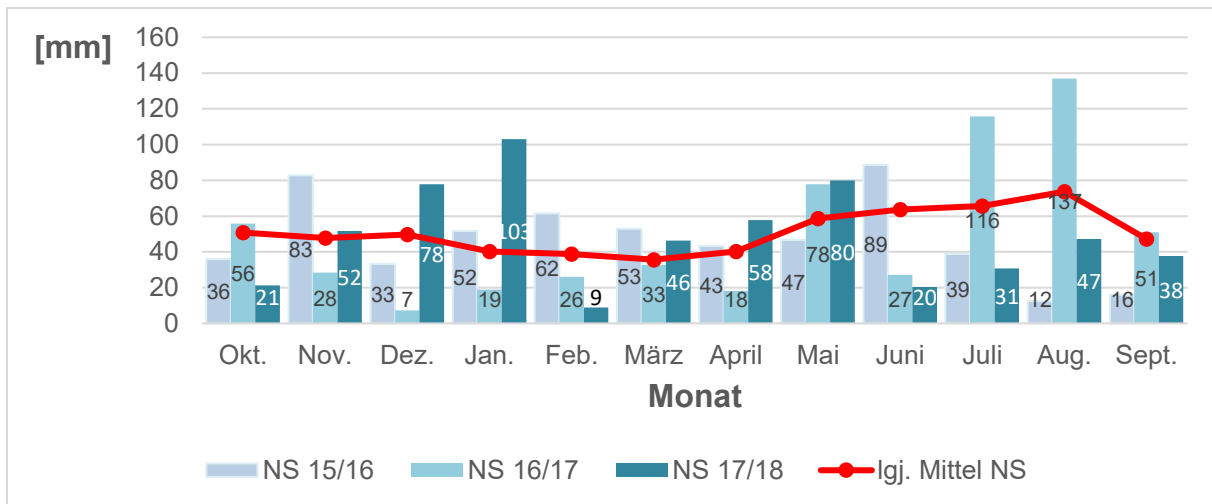


Abbildung 14: Monatliche Niederschlagsmengen der drei Versuchsperioden und des langjährigen Mittels (1948-2014) am Standort Rauschholzhäusen

Im Vergleich der Standorte ließ sich erkennen, dass die Niederschlagsverteilung in den Versuchsjahren große Ähnlichkeiten aufwies. Davon ausgenommen war der deutlich höhere Niederschlag im Juni am Standort Gießen. Weiterhin war ein erheblicher Unterschied für den Mai 2018 zu erkennen. Auch hier wies Gießen (126 mm) deutlich höhere NS-Mengen als RH (80 mm) auf.

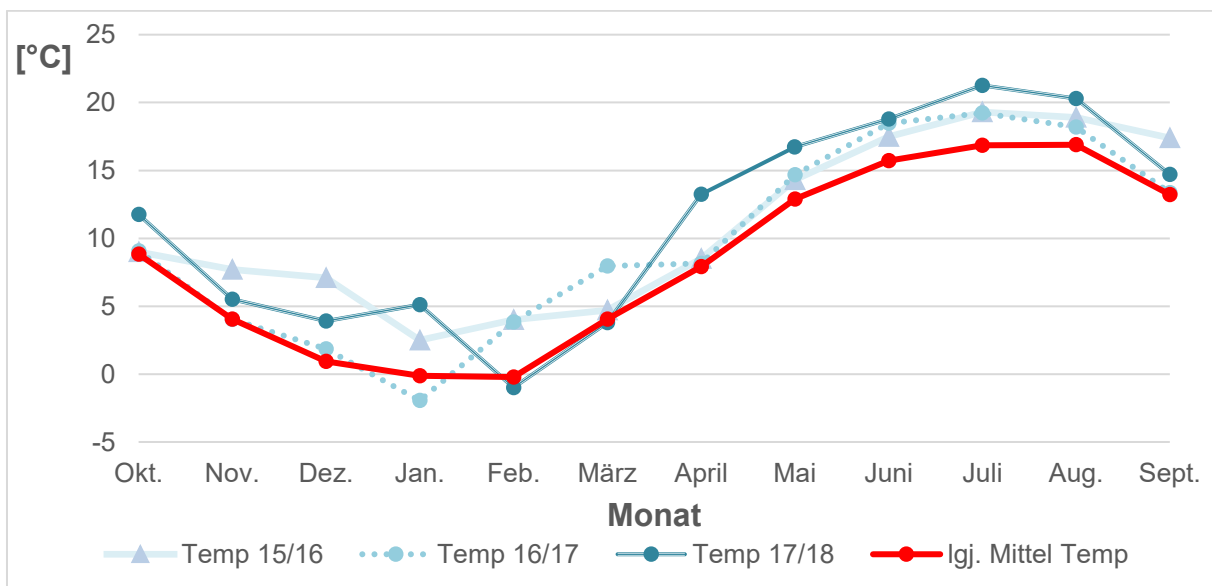


Abbildung 15: Temperaturverläufe der drei Versuchsperioden und des langjährigen Mittels (1948-2014) am Standort Rauschholzhäusen

Die untersuchten Standorte wiesen analoge Temperaturverläufe für die Versuchsjahre auf. Auch im Ausnahmejahr 2018, das durch trockenere und heißere Bedingungen auffiel, waren klare Parallelen zwischen den Standorten sichtbar. Zum einen der Temperatursturz im Februar und die deutlich höheren Temperaturen im Zeitraum April bis September. Allerdings fielen in RH im Zeitraum Mai bis Juni ca. 100 mm weniger Niederschlag, verglichen zu GI (**Abbildung 16**). Weiterhin wurde die

Optimaltemperatur von 15°C ab dem Zeitpunkt der Blüte, Anfang Juni, dauerhaft überschritten.

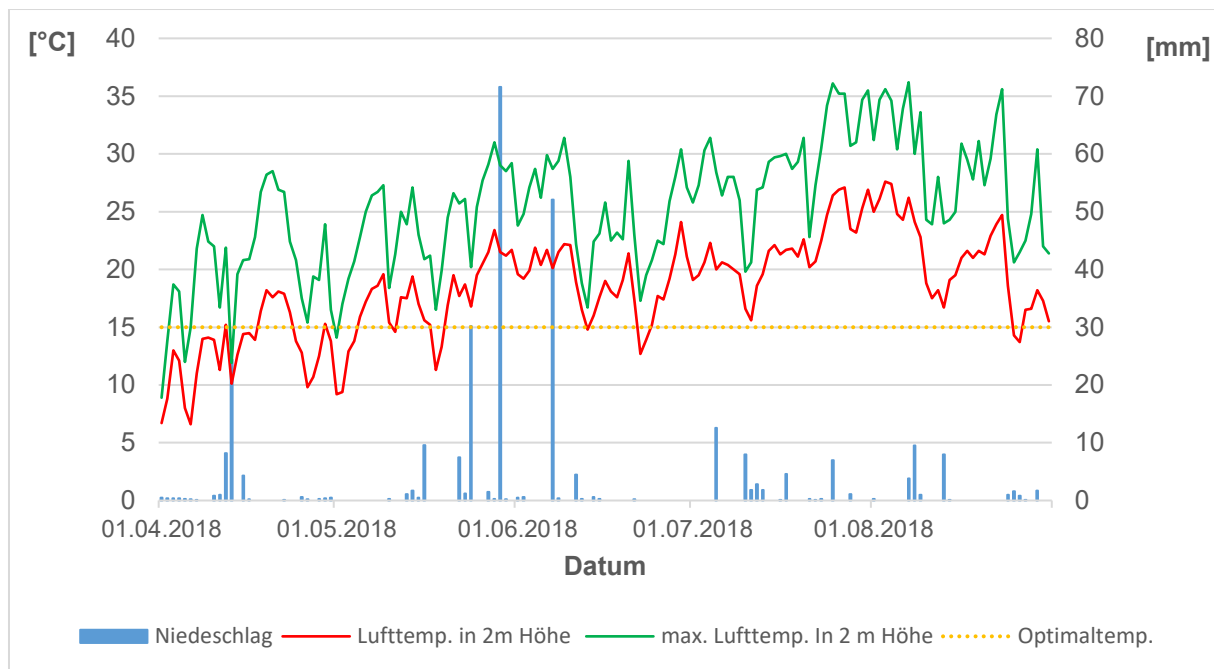


Abbildung 16: Tägliche Durchschnittstemperatur und tägliche max. Temperatur, sowie die Niederschläge am Standort Rauschholzhausen im Zeitraum April bis September 2018.

3.2 Versuchsanlage

Gießen

Als Versuchsdesign der Parzellenversuche diente eine zweifaktorielle randomisierte Blockanlage. Es wurden zwei Faktoren getestet. Zum einen die Stickstoff-Düngung, die zehn Varianten umfasste, welche sich in Dosierung, Ausbringungszeitpunkt und Form unterschieden. Zum anderen wurden vier Winterweizen-Sorten getestet, die in zwei Qualitätsklassen einzuordnen sind. Es wurden zwei Elite (E)-Weizen Akteur und Helmond und zwei Aufmisch (A)-Weizen untersucht. Alle Faktorkombinationen wurden vierfach wiederholt, sodass der Versuch 160 Parzellen (zehn Düngestufen x vier Sorten x vier Wiederholungen) und 44 Randparzellen umschließt. Das Großteilstück stand für eine Düngungsvariante und die Kleinteilstücke bildeten die vier Weizensorten. Die Großteilstücke waren, links und rechts, jeweils mit einer Randparzelle umgeben (**Abbildung 17**). Eine Parzelle hatte eine Größe von $1,5 \times 8 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$, sodass der gesamte Versuch $0,24 \text{ ha}$ benötigte.

R	94	93	92	91	R	34	33	32	31	R	54	53	52	51	R	14	13	12	11	R	104	103	102	101	R	84	83	82	81	R	24	23	22	21	R	44	43	42	41	R	64	63	62	61	R	74	73	72	71	R
R	82	81	84	83	R	62	61	64	63	R	42	41	44	43	R	72	71	74	73	R	22	21	24	23	R	52	51	54	53	R	92	91	94	93	R	102	101	104	103	R	32	31	34	33	R	12	11	14	13	R
R	103	104	101	102	R	73	74	71	72	R	83	84	81	82	R	63	64	61	62	R	93	94	91	92	R	43	44	41	42	R	33	34	31	32	R	63	64	61	62	R	23	24	21	22	R	43	44	41	42	R
R	11	12	13	14	R	21	22	23	24	R	31	32	33	34	R	41	42	43	44	R	51	52	53	54	R	61	62	63	64	R	71	72	73	74	R	81	82	83	84	R	91	92	93	94	R	101	102	103	104	R

Abbildung 17: Aufbau des Parzellenversuchs Gießen (2016-2018)

Rauschholzhausen

Die verwendeten Düngungsvarianten und Sorten waren für beide Standorte identisch. Im ersten Versuchsjahr wurde der Versuch ähnlich wie in Gießen angelegt. Allerdings wurden hier ausschließlich Randparzellen rechts und links der ungedüngten Kontrollen gelegt. Da es aber im Jahr 2016 zu Lagererscheinung der Sorte Helmond kam, wurde in den darauffolgenden Jahren eine andere Anlage-Methode (Plot in Plot-Design) verwendet. Das Besondere am Plot in Plot-Design ist, dass es ein Versuchs- und ein Ernteteilstück gibt. Das Versuchsteilstück hatte die Maße 3 x 8 m. Das Ernteteilstück stellte den mittleren Teil (1,5 m) dar. Den Rand bildeten jeweils 75 cm der benachbarten rechten und linken Parzelle (**Abbildung 18**). Somit hatte jede Kernparzelle Randparzellen, die sie vor Randeffekten schützte. Dadurch nimmt die Versuchsanlage eine höhere Güte an. Der Rand wurde mit einer verringerten Düngung versorgt, damit das Risiko von Lagererscheinungen minimiert wurde.



Abbildung 18: Plot in Plot-Design, Parzellenversuch Rauschholzhausen 2016/17 (J. Hees)

3.2.1 Prüffaktoren

N-Düngung

Es wurden zehn N-Düngungsvarianten getestet, die in ihrem N-Aufwand zwischen 180 bis 240 kg variierten (**Tabelle 6**). Die Varianten zwei bis sieben wurden mit granuliertem Kalkammonsalpeter (KAS) gedüngt. Wohingegen die Varianten acht bis zehn mit dem flüssigen Dünger Artifert (15 % Gesamt-N, davon 9,5 % NH₄-N und 5,5 % NO₃-N; 5 % Schwefel in Form von Schwefeltrioxid (SO₃)) der Firma Bollmer, mithilfe des Controlled-Uptake-Long-Term-Ammonium-Nutrition (CULTAN)-Verfahrens, gedüngt wurden (siehe Abschnitt **2.3.2**). Um einen Schwefeleffekt zu vermeiden, wurden die Varianten Nr. 1 bis 7 mit dem Einzelnährstoffdünger Schwedokal 90 (90 % elementarer Schwefel, 10 % Bentonit) zum Vegetationsbeginn gedüngt.

Tabelle 6: N-Düngungsplan der Weizen-Parzellenversuche in Gießen und Rauschholzhausen in den Jahren 2016 bis 2018

Variante	N1		N2		N3		N-Aufwand (kg N/ha inkl. N _{min})	
	Veg.beginn (ES 23)	ES 25-27	ES 30	ES 31	ES 49	ES 52		
1	0	0	0	0	0	0	0	
2	120-Nmin	0	0	60	0	0	180	
3	120-Nmin	0	0	80	0	0	200	
4	120-Nmin	0	40	0	0	40	200	
5	120-Nmin	0	0	40	0	40	200	
6	120-Nmin	0	40	0	40	0	200	
7	120-Nmin	0	60	0	40	0	220	
8	0	180-Nmin*	0	0	0	0	180	
9	0	140-Nmin*	0	0	40	0	180	
10	0	180-Nmin*	0	0	60	0	240	
		*CULTAN-Verfahren						

Die erste Variante stellt die ungedüngte Kontrolle dar. Die Varianten 2 und 3 erhielten ausschließlich zwei N-Gaben, wobei Nr. 3 zu ES 31 20 kg N/ha mehr bekam. Die Varianten 3 bis 6 unterschieden sich nicht aufgrund der N-Dosierung (200 kg N/ha), sondern durch den Ausbringungstermin. Variante Nr. 4 erhielt eine frühe N2 zu ES 30 und eine späte N3 zu ES 52. Die Nr. 5 wurde früh- und die Nr. 6 spätbetont gedüngt. Die Variante Nr. 7 erhielt die höchste granuliert N-Menge (220 kg N/ha), in Form von KAS und unterschied sich nur in der N2 (+ 20 kg N/ha) zur Nr. 6. Die Varianten 8 bis

10 erhielten eine verzögerte 1. N-Gabe zu ES 27. Die Varianten 8 und 9 bekamen die gleiche N-Menge, allerdings wurde die Düngemenge von 180 kg N/ha in Nr. 8 als Einzelgabe in den Boden injiziert. Für die Nr. 9 wurde die Düngung auf zwei Termine aufgeteilt. Zu ES 27 wurde mit dem CULTAN-Verfahren 140 kg N/ha als Depotdüngung injiziert und zusätzlich zu ES 49 eine N-Gabe mit KAS durchgeführt. Dieselbe Vorgehensweise wurde für die Variante Nr. 10 angewendet, allerdings mit einer gesteigerten N-Menge (180/60) (**Tabelle 6**).

Weizen-Sorte

Für die durchgeführten Versuche wurden vier Winterweizen-Sorten ausgewählt, darunter zwei E-Weizen (Akteur und Helmond), sowie zwei A-Sorten (JB Asano und RGT Reform). Die Sorten weisen sehr unterschiedliche Eigenschaften in ihrer Anbaueignung und ihrer Qualität auf, die in **Tabelle 7** beschrieben werden.

Die Sorte Akteur war die älteste Sorte, die in den Parzellenversuchen verwendet wurde. Sie stammt von dem Züchter Deutsche Saatveredelung AG. Im Anbau zeichnet sie sich durch eine geringe Bestandesdichte aus und wird daher als Einzelährentyp ausgewiesen (Deutsche Saatveredelung AG 2018). Weiterhin besitzt sie eine mittlere Reife und eine hohe Anfälligkeit gegenüber Gelbrost und Blatt-Septoria. Insgesamt verfügt Akteur über eine sehr hohe Qualität (Bundessortenamt 2018).

Die E-Weizen-Sorte Helmond wurde von Syngenta Seeds GmbH gezüchtet. Sie wird als Kompensationstyp mit einer mittleren Bestandesdichte, einer niedrigen Kornzahl/Ähre und einem mittleren TKM beschrieben (Syngenta Agro GmbH 2017). Außerdem weist sie eine geringe Anfälligkeit gegenüber den wichtigsten pilzlichen Erregern auf. Aufgrund ihres hohen Wuchses neigt sie zum Lagern. Die E-Sorte bietet eine herausragende Kornqualität (Bundessortenamt 2018).

Die Sorte JB Asano stammt aus dem Hause Saatzucht Josef Breun GmbH & Co. KG und wird als Einzelährentyp mit einem hohen TKM charakterisiert (Breun Saatzucht 2018). Der A-Weizen hebt sich durch seine Frühreife und gute Ertragsleistung hervor. Andererseits zeigt sie eine sehr hohe Anfälligkeit gegenüber Pilzerkrankungen, wie Gelbrost und Fusarium. JB Asano weist mittlere Qualitätseigenschaften und eine geringe Fallzahlstabilität auf (Bundessortenamt 2018).

Die vierte Sorte, RGT Reform, stammt von dem Züchter Societe RAGT 2N. Der A-Weizen wird als Bestandesdichtetyp mit hohem Kompensationsvermögen eingestuft (R.A.G.T. Saaten Deutschland GmbH 2018). RGT Reform zeigt die späteste Reife im verwendeten Sorten-Set und die höchste Ertragseinstufung auf. Für den Rohproteingehalt erreicht die Sorte eine geringe Einstufung, wohingegen eine hohe Fallzahl und gute Fallzahlstabilität vorzuweisen ist (Bundessortenamt 2018).

Tabelle 7: Eigenschaften der verwendeten Sorten (modifiziert nach Bundessortenamt 2018)

Sortenbezeichnung	Zulassungsjahr	Qualitätsgruppe	Reife	Lager	Blattseptoria	Gelbrost	Ährenfusarium	Bestandesdicke	Kornzahl/Ähre	TKM	Kornertrag Stufe 2	Rohproteingehalt	Sedimentationswert	Mehlausbeute T550	Fallzahl	Fallzahlstabilität	Volumenausbeute	Elastizität des Teiges
Akteur	2003	E	5	5	6	9	4	4	4	5	3	8	9	7	8	+	8	3
Helmond	2015	E	5	8	4	3	2	5	3	5	2	9	9	8	8	+	9	3
JB Asano	2008	A	4	5	7	8	6	4	4	7	6	5	6	8	6	-	6	3
RGT Reform	2014	A	6	4	4	4	4	6	5	6	7	4	7	7	9	+	6	3

3.3 Versuchsdurchführung

3.3.1 Gießen

In allen drei Versuchsjahren diente Winterraps (WR) als Vorfrucht. Die Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung wurde jährlich mit der Scheiben- und der Kreiselegge durchgeführt. Die Aussaat fand jedes Jahr Mitte Oktober mit einer Aussaatstärke von 300 Körnern/m² statt (**Tabelle 8**). In den ersten zwei Versuchsjahren wurde im Herbst ein Herbizid angewendet, um den Unkrautdruck zu minimieren. In dritten Versuchsjahr war dies nicht der Fall. Im zweiten Jahr wurde zusätzlich eine Insektizid-Maßnahme im Herbst aufgrund von Blattlausvorkommen appliziert. Im Frühjahr, zum Zeitpunkt des Schoss-Beginns (ES 31), wurden in jedem Jahr Wachstumsregulatoren zur Halmeinkürzung und –stabilisierung angewandt. Hinsichtlich der Wachstumsbedingungen im Frühjahr 2018 wurde darüber hinaus ein zweites Mal Wachstumsregulator zu ES 32 eingesetzt. Da im Herbst 2017 der Herbizid-Einsatz ausblieb, wurde dieser zu ES 25-30 im darauffolgendem Frühjahr 2018 nachgeholt. In der zweiten Versuchsperiode wurde ebenfalls im Frühjahr eine Unkrautbekämpfungsmaßnahme durchgeführt. Im ersten und dritten Jahr fand ein weiterer Herbizid-Einsatz zum Ende des Schossens (ES 37-39) statt. Zu ES 32-34 wurde jedes Jahr eine Fungizid-Behandlung durchgeführt.

Tabelle 8: Maßnahmen in den Parzellenversuchen in Gießen (2016 bis 2018)

Jahr	Vorfrucht	Aussaattermin	N _{min} Frühjahr	Pflanzenschutz				Erntetermin
				Herbizide	Fungizide	Insektizide	Wachstumsregulation	
2015/16	WR	12.10.2015	30 kg NO ₃ -N/ha	0,6 l/ha Herold (ES 11) 1,5 l/ha U-46 M (ES 39)	1 l/ha Bravo + 1,5 l/ha Ampera (ES 31) 1 l/ha Input Classic (ES 33)	0,3 l/ha Bolldock (ES 39)	0,4 l/ha CCC + 0,2 l/ha Calma (ES 31)	11.08.2016
2016/17	WR	11.10.2016	50 kg NO ₃ -N/ha	0,6 l/ha Herold (ES 11) 0,7 l/ha Tomigan 200 + 1,5 l/ha U-46 M (ES 33)	1 l/ha Cirkon + 1,25 l/ha Credo (ES 34) 1 l/ha Osiris + 1 l Epoxion (ES 55-59)	0,3 l/ha Bolldock (ES 11)	0,5 l/ha CCC + 0,3 l/ha Calma (ES 31)	15.08.2017
2017/18	WR	17.10.2017	40 kg NO ₃ -N/ha	1,5 l/ha Fox + 1,2 l/ha Axial 50 (ES 25-30) 0,7 l/ha Tomigan 200 + 1,5 l U-46 M (ES 37)	1,1 l/ha Cirkon (ES 32) 1,25 l/ha Acara Xpro (ES 51)	80 ml/ha Cythrin 250 EC (ES 51)	0,5 l/ha CCC (ES 25-30) 0,5 l/ha Moddus (ES 32)	25.07.2018

Im Versuchsjahr 2016 fand zu ES 31 und zusätzlich zu ES 33 eine Bekämpfung gegen pilzliche Erreger statt, die in diesem Jahr ein großes Problem darstellten, insbesondere der Gelbrost (*Puccinia striiformis*). In den beiden darauffolgenden Jahren wurden während des Ährenschiebens ein weiteres Mal Fungizide eingesetzt, um u.a. der Fusarium-Infektion entgegen zu wirken. In dem Versuchsjahr wurde eine Insektizid-Maßnahme durchgeführt, allerdings zu einem jeweils anderen Zeitpunkt (s. **Tabelle 8**). Hauptsächlich richtete sie sich gegen Blattläuse und andere virusübertragende Insekten.

3.3.2 Rauschholzhausen

Am Standort Rauschholzhausen fand die Aussaat in allen drei Jahren in der letzten Oktoberdekade, nach der Vorfrucht Silomais, statt (**Tabelle 9**). Im Herbst wurde jährlich ein Voraufbauherbizid verwendet. Im ersten Versuchsjahr wurde eine weitere Unkrautbekämpfung aufgrund eines hohen Distelaufkommens durchgeführt.

Tabelle 9: Durchgeführte Maßnahmen in den Parzellenversuchen in Rauschholzhausen (2016 bis 2018)

Jahr	Vorfrucht	Aussaattermin	N _{min} Frühjahr	Pflanzenschutz				Erntetermin
				Herbizide	Fungizide	Insektizide	Wachstumsregulation	
2015/16	Silomais	20.10.2015	35 kg NO ₃ -N/ha	4 l/ha Malibu (21.10.2015) 1,5 l/ha MCPA (19.05.2016)	1 l/ha Tebucur (13.04.2016) 1 l/ha Folicur (19.05.2016) 0,75 l/ha Folicur + 0,75 l/ha Aviator Xpro Duo (31.05.2016)	-	1 l/ha CCC (15.03.2016)	11.08.2016
2016/17	Silomais	26.10.2016	55 kg NO ₃ -N/ha	0,75 l/ha Bacara Forte + 0,3 l/ha Cadou SC (27.10.2016)	1 l/ha Folicur (08.05.2017) 0,75 l/ha Aviator Xpro + 0,75 l/ha Fandango (31.05.2017)	-	1 l/ha CCC (16.03.2017)	07.08.2017
2017/18	Silomais	25.10.2017	40 kg NO ₃ -N/ha	0,75 l/ha Bacara Forte + 0,3 l/ha Cadou Forte (26.10.2017) 300g/ha Atlantis (24.04.2018)	1,5 l/ha Caramba (21.05.2018) 1,5 l/ha Ascargas (29.05.2018)	300 ml/ha Decis (25.05.2018)	1 l/ha CCC (09.04.2018) 0,5 l/ha Moddus (07.05.2018)	27.07.2018

Im Jahr 2018 war eine starke Verungrasung auf der Versuchsfläche zu beobachten, sodass auch hier eine weitere Herbizid-Maßnahme erfolgte. Im Frühjahr wurde alljährlich ein Wachstumsregulator eingesetzt. Im Jahr 2018 wurde Anfang Mai eine zusätzliche Maßnahme durchgeführt, da die Entwicklung des Bestandes zu rasch voranschritt. Angesichts des sehr hohen Infektionsdrucks durch Pilze wurden, im Jahr 2016, drei Fungizid-Maßnahmen angewendet. In den Jahren 2017 und 2018 wurden lediglich zwei Fungizid-Applikationen durchgeführt. Eine Insektizid-Behandlung fand nur im letzten Jahr infolge eines starken Befalls durch Getreidehähnchen (*Oulema melanopus*) statt. Aufgrund von langanhaltender Trockenheit und hohen Temperaturen stach besonders die frühe Weizenernte im Jahr 2018 hervor.

3.4 Feldparameter

3.4.1 Kornertrag

Alle Parzellenversuche wurden mit einem Parzellenmähdrescher geerntet. Die geerntete Kornmenge pro Parzelle wurde in der Versuchsstation gewogen und gravimetrisch der Trockensubstanz (TS)-Gehalt bestimmt. Die Proben wurden bei einer Temperatur von 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Es wurden 3 kg jeder Probe für nachfolgende Untersuchungen aufbewahrt. Um die Erträge vergleichen zu können, wurden alle Werte auf einen TS-Gehalt von 86 % in dt/ha umgerechnet.

3.4.2 Ähren/m²

Innerhalb jeder Parzelle wurde zwei Mal an unterschiedlichen Stellen die Ähren eines laufenden Meters gezählt und durch die nachstehende Formel auf die Ährendichte pro m² umgerechnet.

$$\text{Ähren pro m}^2 = \text{Anzahl gezählter Ähren} * \text{Reihenanzahl pro Parzellenmeter}$$

3.4.3 Tausendkornmasse

Für die TKM wurde zunächst eine kleine Kornprobe entnommen und händisch von Besatz, wie Spelzen, Steinchen oder halben Körnern, befreit. Danach wurden drei Mal 100 Körner, dieser gereinigten Proben, mit dem Seed Counter des Typs „Contador“ (Pfeuffer) gezählt und gewogen. Daraus wurde der Mittelwert gebildet und auf 1000 Körner umgerechnet.

3.4.4 Stickstoffnutzungseffizienz des Weizens

Nach Moll et al. (1982) wird die Stickstoffnutzungseffizienz (engl. Nitrogen Use Efficiency (NUE)) wie folgt berechnet:

$$NUE = \frac{\text{Kornertrag bei 100 \% TM}}{\text{Applizierte Stickstoffmenge} + N_{min}}$$

3.4.5 N-Aufnahme

Die N-Aufnahme bzw. der N-Entzug beschreibt die Menge an Stickstoff, die von der Pflanze über den Dünger und/oder den Boden aufgenommen wurde. Dieser Parameter wird mithilfe der nachfolgenden Formel berechnet.

$$N - \text{Aufnahme} = \text{Kornertrag} * \text{Stickstoffgehalt des Kornes}$$

3.4.6 Pflanzenlänge

Die Pflanzenlänge wurde an mehreren zufällig ausgewählten Halmen der einzelnen Parzellen ermittelt. Es wurde vom Boden bis zur Ährenspitze gemessen. Diese Messung fand nach dem Blühende, wenn die Pflanze ihr Höhenwachstum bereits abgeschlossen hatte, statt.

3.4.7 Vegetationsindices

Die Vegetationsindices NDVI und NDRE wurden mithilfe des RapidScan CS-45 der Firma Holland Scientific mehrmals während der Vegetationsperiode erhoben. Das Gerät konnte drei Wellenlängen erfassen 670 (Red), 730 (Red Edge) und 780 nm (NIR), die dann zu den Indices verrechnet wurden. Die Vegetationsaufnahmen fanden zu Beginn und Ende des Schossens, sowie zur Blüte des Weizens, statt. Das Gerät besaß eine eigene Lichtquelle, sodass es unabhängig von der Sonneneinstrahlung einsetzbar war. Innerhalb einer Parzelle wurden mindestens vier Einzelmessungen durchgeführt. Das Gerät wurde auf Hüfthöhe über dem Bestand positioniert und die Messung mit einem Hebel an der Unterseite ausgelöst und mit einem zweiten Hebeldruck wieder gestoppt. Das Messfeld ist ein langgezogenes, sehr schmales Rechteck. Die Messungen wurden an unterschiedlichen Stellen der Parzelle durchgeführt. Sie wurden automatisch auf dem Gerät gespeichert. Da es nicht möglich war, die Messwerte mit einer Parzellennummer zu versehen wurden zusätzlich alle Werte handschriftlich festgehalten, um sie später den Parzellen zuordnen zu können. Die Werte konnten mithilfe der dazugehörigen Software auf den PC übertragen werden und wurden im CSV-Format gespeichert. Diese konnten in Excel importiert und weiterführend bearbeitet werden. Aus den vier Einzelmessungen wurde ein Mittelwert für die jeweilige Parzelle erstellt.

3.5 Laboranalysen

3.5.1 N_{min}-Bodenuntersuchungen

Die Bodenproben wurden mithilfe der N_{min}-Labormethode auf mineralischen Stickstoff in Form von Nitrat und Ammonium untersucht (VDLUFA 2012). Die Beprobungen fanden im zeitigen Frühjahr (N_{min}) und nach der Ernte (Rest-N) statt. Der Boden wurde in zwei Tiefen beprobt 0-30 und 30-60 cm. Im Frühjahr wurden die Proben gleichmäßig verteilt über die Fläche entnommen und zu einer Mischprobe zusammengefasst. Nach der Ernte wurden alle N-Düngungsvarianten der Sorte Akteur beprobt, sodass für diesen Parameter nur eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt wurde. Der Sorteneffekt wird an dieser Stelle nicht untersucht. In Gießen konnte der Rest-N-Gehalt nur in den ersten beiden Jahren ermittelt werden, da in 2018 die Bodenbearbeitung vor der Probennahme stattfand und die Parzellen nicht mehr zugeordnet werden konnte.

3.5.2 N-Bestimmung im Korn

Die Stickstoff-Bestimmung nach der Dumas Verbrennungsmethode wurde nach den Vorgaben der ICC-STANDARD Nr. 167 durchgeführt. Um den Gesamt-Proteingehalt im Korn zu ermitteln, wurde der gemessene elementare Stickstoff mit dem Faktor 5,7, der nur für Weizen gilt, multipliziert. Für die Proteinbestimmung im Mehl wurde der Faktor 5,83 verwendet (Müller 2014). Zu Kalibrierungszwecken wurde Atropin verwendet.

3.5.3 Nah-Infrarot-Transmissionsspektroskopie

Die NIRS-Technik ist eine Reflexionsanalyse im nahen Infrarotbereich (Kastenmüller 2008). Die organischen Bestandteile (OH-; CH-; NH-Gruppen) weisen spezifische Reflexionssignaturen auf, die an dem Detektor gemessen werden können (Lösche 2017). Verwendet wurde das Modell Inframatic (IM) 9500 des Herstellers Perten. Das Gerät nutzt Wellenlängen im Bereich 570 bis 1100 nm. Das beschriebene Gerät verwendet allerdings als Messprinzip die Transmission (NIT), nicht die Reflektion. Hierbei wurde die Probe durchstrahlt. Die Methode erzielt vergleichbare Ergebnisse wie die Nah-Infrarot-Reflektionsspektroskopie (Glattes et al. 1985; Song und Otto 1995; Miralbés 2004). Mit dem NIRS-Gerät können folgende Parameter Feuchtigkeit (%), Protein in TM (%), Feuchtklebergehalt (%), Sedimentationswert (ml), Hektolitergewicht (kg/hl) und Stärke (%) bestimmt werden. Für jede untersuchte Einzelprobe wurden mind. zwei Messwiederholungen durchgeführt. Die ermittelten NIRS-Werte wurden den klassischen bzw. nasschemischen Verfahren gegenübergestellt und anhand derer Korrelationsanalysen erstellt, um die Vorhersagegenauigkeit zu überprüfen.

3.5.4 Feuchtklebergehalt

Um den Feuchtglutengehalt von Weizen zu bestimmen, wurden die ICC-STANDARD Methode Nr. 137/1 „Mechanische Bestimmung des Feuchtklebergehaltes in Weizenmehl (Glutomatic)“ angewandt. Der erstellte Teig wird mit einer 2 %-igen Kochsalzlösung ausgewaschen. Der entstandene Gluten-Ballen wird entnommen und in einer Zentrifuge vom Haftwasser befreit und daraufhin ausgewogen. Für die Berechnung wird folgende Formeln benötigt:

$$\text{Feuchtglutengehalt} = \frac{\text{Gewicht Gesamtgluten (g)} * 100}{10 \text{ g}}$$

$$\text{Feuchtglutengehalt (86 \% TM)} = \frac{\text{unkorrigierter Feuchtglutengehalt} * (100 - 14)}{100 - \text{Mehlfeuchtigkeit}}$$

3.5.5 Glutenindex nach Perten

Zur Bestimmung des Glutenindex wurde die ICC-STANDARD Methode Nr. 155 durchgeführt. Diese Methode schließt direkt an die Ermittlung des Feuchtglutengehaltes an. Der Einsatz der Zentrifuge besteht aus einem speziellen Sieb. Der vorab erstellte Gluten-Ballen wird in den Einsatz gelegt. Durch die Zentrifugation wird je nach Qualität des Klebers viel oder wenig durch das Sieb gepresst. Je weniger Probe durch das Sieb gelangt, desto stärker bzw. fester ist der Kleber. Der Wert kann zwischen 0 (schwach) und 100 (stark) liegen. Der Glutenindex wird anhand folgender Formel errechnet:

$$\text{Glutenindex} = \frac{\text{Glutenrückstand auf dem Sieb (g)} * 100}{\text{Gesamtgluten (g)}}$$

3.5.6 GMP-Quantifizierung mittels SE-HPLC

Zur Probenaufbereitung durchliefen die Proben einen mehrstufigen Extraktionsprozess. Mithilfe dieser Methode konnten die Gehalte des SDS-löslichen und SDS-unlöslichen Proteins (GMP) ermittelt werden. Als Orientierung wurde die Vorgehensweise von Gupta et al. (1993) verwendet.

Zu Beginn der Extraktion wurde jede Probe in Doppelbestimmung in ein 2 ml Reaktionsgefäße eingewogen (20 mg Mehl T 550). Ein Rührfisch (Ø 2 mm, 7 mm; Carl Roth GmbH + Co. KG) und 1 ml Extraktionspuffer (2 % SDS) wurde hinzugegeben. Der Inhalt wurde suspendiert. Dies sind die Stamm-Reaktionsgefäße. Danach verblieben sie im Wasserbad mit integriertem Magnetrührer für 20 Minuten bei 25°C und 700 UMP (Variomag Multipoint HP15 Mehrstellen-Magnetrührer). Nachfolgend wurden die Proben inkl. Rührfisch bei RT für 10 Minuten bei 13.000 UMP zentrifugiert. Der klare Überstand wurde in ein weiteres Reaktionsgefäß (SDS-lösliche Proteine Reaktionsgefäß) pipettiert, was nun zur Hälfte gefüllt war. In das Stamm-Gefäß wurden

nochmals 1 ml Extraktionspuffer gegeben und der Mehrrückstand unter Vortexen vom Boden gelöst. Die bereits beschriebenen Extraktionsschritte wurden nochmals wiederholt, sodass danach die 2 ml Reaktionsgefäße komplett gefüllt waren. Die Probe wurde mit einer Filterspritze aufgezogen. Die Nadel wurde durch einen nicht proteinbindenden Filter (PVDF-45/15 MS, Macherey-Nagel) ersetzt und gefiltert in ein HPLC-Vial überführt.

Danach erfolgte der zweite Extraktionsabschnitt, mit dem das SDS-unlösliche Protein, das Glutenin-Makropolymer, extrahiert wurde. Zunächst wurde die Temperatur des Rührwasserbades auf 65°C erhöht. Die Stamm-Gefäße wurde wiederholt mit 1 ml Extraktionspuffer aufgefüllt und das Pellet mit dem Vortex-Mischer gelöst. Anschließend wurden die Proben für 10 min bei 700 UPM in das Rührwasserbad gestellt. Danach wurden die Reaktionsgefäße einzeln für 3 min mittig im Ultraschallbad (Transsonic 460/H; Elma) platziert. Im nächsten Schritt wurden alle Proben nochmals für 5 min bei 700 UPM in das Rührwasserbad gegeben. Im Anschluss werden die Proben für 20 min bei RT und 13.000 UPM zentrifugiert. Der entstandene klare Überstand wird in die GMP-Gefäße überführt und der zweite Extraktionsschritt wird noch einmal wiederholt. Wie auch die vorherigen Proben werden sie mit der Filterspritze aufgezogen und filtriert in die HPLC-Vials umgefüllt und verschlossen.

Die verwendete HPLC-Anlage bestand aus den folgenden Komponenten Autosampler (Modell: Varian Prostar 410), dynamische Mischkammer (Knauer), Degaser (Knauer), Pumpen (Modell: Smartline Modell 1050) (Knauer), Säule (Modell: BioSep-SEC-S 4000) und Vorsäule von Phenomenex, Detektor (Modell: Varian Pro Star 310 (UV/Vis Detektor) bzw. Celono DAD Detektor und der HPLC-Software Clarity Chrom.

Es wurde eine isokratische Methode angewandt. Als Eluent diente ein Natriumphosphat-Puffer (0,05 mol/l Dinatriumhydrogenphosphat; 0,5 % SDS) mit einem pH-Wert von 6,9. Bei einer Flussrate von 1 ml/min, einem Injektionsvolumen von 20 µl und RT dauert der Trennvorgang 20 min. Es wurde eine SEC-Säule (Size-Exclusion Chromatography) eingesetzt um die Proteine anhand ihrer Größe aufzutrennen. Nach einem Säulenwechsel wurde die Konzentration des Eluenten von 0,05 mol/l auf 0,005 mol/l Dinatriumhydrogenphosphat verringert, um die Lebensdauer der Anlage zu verbessern, da die Puffersalze in der Anlage auskristallisieren können. Als Standard-Substanz wurde Bovine Serum Albumin (BSA) verwendet, da die Substanz ebenfalls bei einer Wellenlänge von 210 nm detektiert wird (**Abbildung 19**).

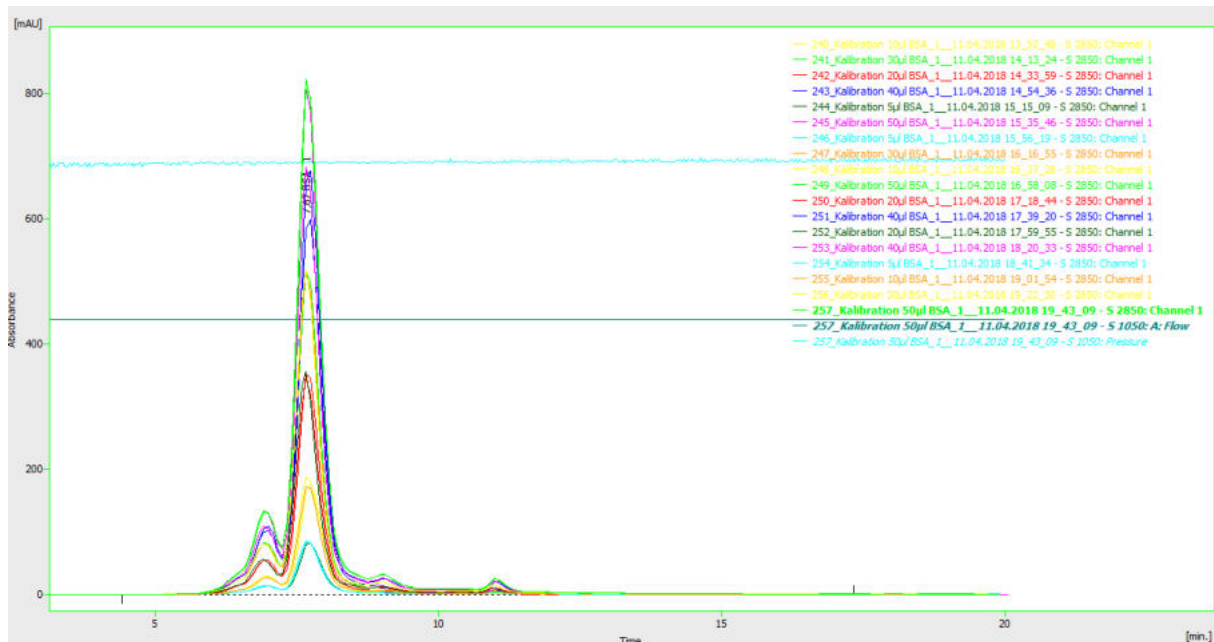


Abbildung 19: Chromatogramme des BSA-Standards für die unterschiedlichen Injektionsvolumina zur Erstellung der Kalibrationsgeraden (J. Hees)

Anhand von BSA wurde eine Kalibration erstellt (**Abbildung 20**). Mit dieser Geradengleichung, der Mehl-Einwaage und der gesamten Peakfläche der Chromatogramme, wurden die Gehalte von SDS-löslichem Protein und GMP errechnet. Eine wichtige Einschränkung war, dass die Proben nur begrenzt lagerfähig waren. Deshalb mussten sie innerhalb von ein bis zwei Tagen nach der Extraktion mit der HPLC untersucht werden.

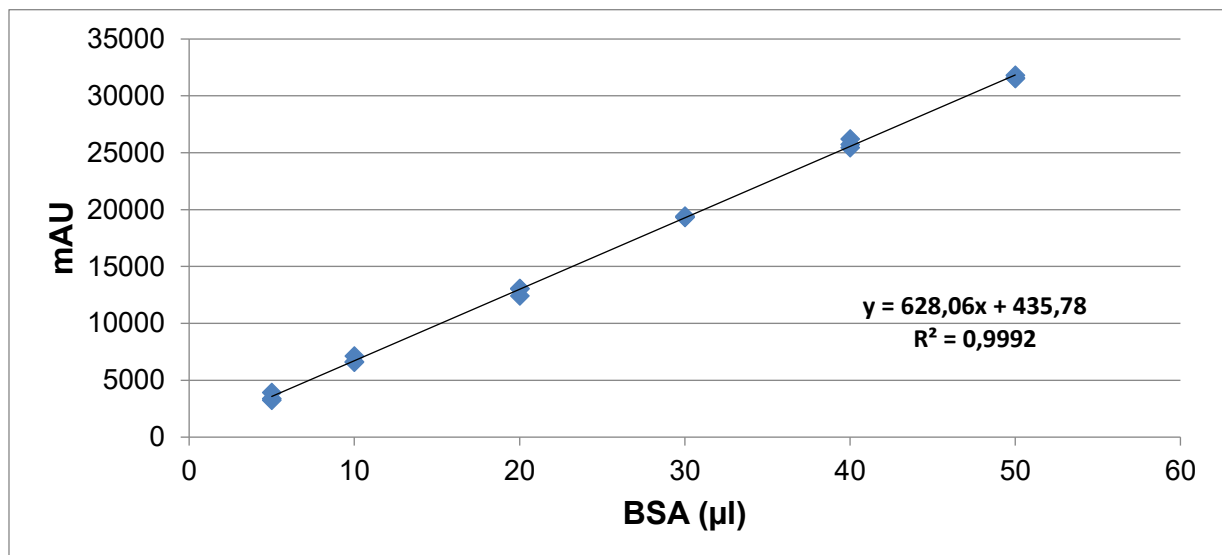


Abbildung 20: Kalibrationsgerade basierend auf der Standard-Substanz BSA für die GMP-Quantifizierung (J. Hees)

In **Abbildung 21** ist ein typisches Chromatogramm mit der entsprechenden darunterliegenden Peak-Fläche (blau) einer GMP-Probe zu sehen.

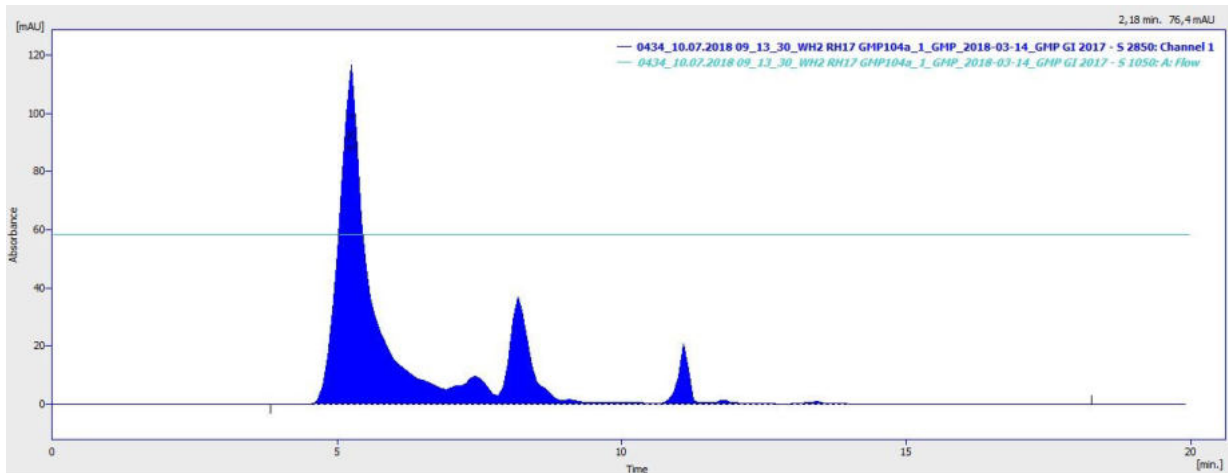


Abbildung 21: Charakteristisches Chromatogramm einer GMP-Probe (J. Hees)

3.5.7 Sedimentationstest nach Zeleny

Um die Backqualität von Weizenmehl indirekt zu bestimmen, wurde der Sedimentationstest durchgeführt (ICC-STANDARD Nr. 116/1). Für den Test wurde ein spezielles Mehl benötigt, das ausschließlich mit der Brabender-Sedimat-Mühle (ICC-STANDARD Nr. 118) hergestellt werden kann. Als Sedimentationswert wurde das Sedimentationsvolumen, das in einer festgelegten Zeitdauer in Milchsäurelösung suspendiert, definiert. Durch die Zugabe der Milchsäurelösung quollen die Kleberteilchen. Die Quellfähigkeit war abhängig von der Proteinmenge und –qualität. Je langsamer die Teilchen absanken, desto höher war die Wasseraufnahme und resultiert in einem niedrigeren spezifischen Gewicht bzw. reduzierter Absinkgeschwindigkeit. Je mehr Wasser ein Teilchen aufnehmen konnte, desto höher war die Kleberqualität und somit der Sedimentationswert.

3.5.8 Fallzahl nach Hagberg-Perten

Mit der ICC-STANDARD Methode Nr.107/1 wird die Fallzahl bestimmt, die als indirektes Maß für die Alpha-Amylase-Aktivität gilt. Die Methode beruht auf der schnellen Verkleisterung von Wasser und Mehl in einem kochenden Wasserbad und der darauffolgenden Verflüssigung des Stärke-Gels durch das Enzym Alpha-Amylase.

3.5.9 Backversuche

Rapid-Mix-Test (RMT)

Der Rapid-Mix-Test (RMT) (ICC-Standard Methode Nr.131) wird in Deutschland als Standard-Backversuch verwendet. Im Jahr 1970 wurde der RMT in die Standard-Methoden der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. aufgenommen (Sciurba 2015). Ausgewählte Proben aus den drei Versuchsjahren wurden mit diesem Backtest in Detmold (DIGeFa GmbH) und Rehbrücke (IGV FOODTECH) untersucht. Für die Teigbereitung wurde ein STEPHAN-Knetter UMTA 10, eine Teigteil- und Wirkmaschine und eine Langwirkmaschine (FRILADO) benötigt. Die Methode zeichnete sich durch eine intensive Knetung und eine kurze Reifezeit aus. Auch die Rezeptur und die Vermahlung sind standardisiert. Die Höhe der Wasserzufuhr resultiert aus der Farinograph-Untersuchung (Lösche 2017). Hierbei wird ein Wert von 500 Farinogramm-Einheiten (FE) angestrebt. Die Malzmehlmenge ist von der Fallzahl abhängig. Durch die Malzmehlzugabe wurde die Fallzahl aller Proben auf einen Wert von etwa 250 Sekunden eingestellt. Mithilfe des Kneters wurden die Zutaten, 1 kg Mehl, Wasser, 5 % Frischbackhefe, 1,5 % Salz, 1 % Zucker, 1 % Erdnussfett, 0,002 % Ascorbinsäure und Malzmehl innerhalb einer Minute bei 1400 Umdrehungen zu einem Teig verknetet. Die Dauer der Teigruhe beträgt 20 und die Stückgare 25 Minuten. Aus jeder Probe wurden 30 Brötchen geformt, die bei einer Temperatur von 240°C und einer Dauer von 20 Minuten verbacken werden (Pelshenke et al. 2007). Ziel des RMTs war es u.a. die Volumenausbeute (VA) der Brötchen zu bestimmen. Die Berechnung erfolgt nach der folgenden Formel:

$$VA = \frac{\text{Gebäckvolumen (cm}^3\text{)} * 100}{\text{Mehlgewicht}} = \frac{\text{ml}}{100\text{g Mehl}}$$

Außerdem wurden weitere Kriterien berücksichtigt, um das Gebäck zu beurteilen. Dazu zählten der Ausbund, die Bräunung, die Rösche, die Porengleichmäßigkeit, die Krumenelastizität und der Geschmack. Die aufgezählten Parameter wurden ebenfalls ermittelt. Weiterhin gibt es für die Höhe der Volumenausbeute eine Einteilung in verschiedene Kategorien (**Tabelle 10**).

Tabelle 10: Übersicht der Einteilung der VA für Back- und Aufmischweizen (nach Erling 2008)

Backweizen VA in ml/100g Mehl	Aufmischweizen VA in ml/100g Mehl	Backverhalten
<600	<660	Nicht befriedigend
601-630	661-700	Befriedigend
631-660	701-740	Gut
>660	>740	Sehr gut

Optimierter Backtest (OBT)

Für den optimierte Backtest wurden die vier Wiederholungen eines Prüfgliedes zu einer Mischprobe zusammengefügt, sodass 40 Proben pro Jahr und Standort vorhanden waren. Als Probenvorbereitung wurden die Proben mit dem Laborwalzenstuhl AQC, der Schweizer Firma Agromatic, zu einem Mehl Type 550 in den Räumlichkeiten des Forschungsrings e.V. in Darmstadt vermahlen. Der OBT beruht auf einer praxisnahen Teigverarbeitung und einer optimierten Knetdauer (Linnemann 2010). Für die Teigbereitung wurde ein elektronisch geregelter 50 g DoughLab Messknetter (Newport Scientific, AU) mit 63 bis 200 Umdrehungen pro Minute genutzt, der mit einem temperierbaren Brabender Doppel Z-Arm Knetter ausgestattet war. An den Knetter war ein Farionograph angeschlossen, der die potentielle Wasseraufnahme und die Konsistenz des Teiges über den Widerstand des Kneters messen konnte. Zur Teigherstellung wurden alle Zutaten in den Messknetter gegeben und eine Minute verknetet. Danach wurde die benötigte Wassermenge, die individuell bestimmt wurde, langsam bei laufender Messung hinzugegeben. Das Ziel war es, eine Konsistenz von ca. 500 FE, bei 25°C und 95 UPM zu erreichen. Die Wassermenge war abhängig von der Sorte und dem Proteingehalt. Die Knetdauer und die zugeführte Energie wurden mithilfe der Konsistenzkurve bzw. des Farionogramms bestimmt. Im Mittel lag die Knetzeit in etwa bei fünf Minuten und der Energieeintrag im Bereich von acht bis zwölf Wh/kg, die mithilfe des Farionographens, der an den Knetter angeschlossen war, ermittelt wurde. Der Knetvorgang wurde gestoppt, sobald die Kraft nach dem Kurvenmaximum deutlich abfiel. Anschließend wurde der Teig aus dem Knetter entnommen und auf einem Holzbrett von Hand zu einer Kugel geformt. Danach folgte eine 20-minütige Teigruhe unter einer Holzschale bei Raumtemperatur. Im nächsten Schritt wurde der Teig drei Mal mithilfe einer Wirkmaschine (Mono Mini-Moulder) (3 mm Walzenabstand, Druckeinstellung Nr. 6) gewalzt und aufgerollt, um große Gasblasen aus dem Teig zu entfernen. Im Anschluss wurde die Teigrolle in eine gefettete rechteckige Backform gelegt (Maße innen oben L x B x H: 10 x 5,5 x 3 cm). Danach folgte eine 60-minütige Phase im Gärschrank (Miwe Econo) bei 32°C und 85 % relative Luftfeuchtigkeit. Im nächsten Schritt wurde der gegangene Teig bei 230°C und für neun Minuten im Backofen (Miwe Gusto CS) gebacken. Das Backvolumen wurde direkt nach dem Backvorgang in einem Volumeter aus Edelstahl mit den Grundmaßen 10 x 10 x 10 cm, das Brötchen bis 1000 ml Backvolumen/ 100 g Mehl aufnehmen konnte, bestimmt. Dafür wurde das Gefäß mit Glaskugel (\varnothing 2 mm, \pm 0,2 mm, Lindner, Warmensteinach) und dem Brötchen befüllt. Die Kugeln füllten den Raum, den das Brötchen im Volumeter nicht ausfüllt. Unter Verwendung der Dichte der Glaskugeln (1,59 kg/l) konnte das Brotvolumen berechnet werden (Linnemann 2010).

Für die Rezeptur des OBT-Brötchens wurden 50 g Mehl, 5 % Hefe, 3 % Butter, 2 % Zucker, 2 % Dinkelmehl-Acerola Mischung, 1 % Salz und 0,5 % Gerstenmalz (aktiv) verwendet.

Kasten-Backversuch

Der Kastenbackversuch (KBV) wurde, bevor der RMT für freischiebende Brötchen entwickelt wurde, als Standardmethode für inländische Handelsmehle verwendet. Die Rezeptur beinhaltet 500g Weizenmehl, 1,2 % Salz, 3 % Hefe, 1 % Zucker, 0,0005 % Ascorbinsäure. Ähnlich wie auch für den RMT werden die Bestandteile für eine Minute im Schnellknetter „Universal“ geknetet. Die Dauer der Teigruhe beträgt 120 Minuten. Danach wird der Teig in zwei gleiche Teigstücke geteilt und in die Backform (Bodenfläche 80 (B) x 80 (H) x 100 (H) cm). Die Stückgare beträgt 65 Minuten. Der Teig wird bei 240°C für 30 Minuten gebacken. Für den KBV wird die Bewertung nicht anhand der Volumenausbeute durchgeführt, sondern mithilfe der Wertzahl (Pelshenke et al. 1964)

Tabelle 11: Beurteilung von Weizenmehl Type 550 auf Basis der Kastenbackversuchs anhand der Wertzahl (Pelshenke et al. 1964)

Qualität	Wertzahl
gering	< 102
gut	102 - 160
sehr gut	> 160

3.6 Statistische Auswertung

Die auszuwertenden Daten stammten aus drei aufeinanderfolgenden Jahren (2016, 2017, 2018), sowie von zwei Versuchsstandorten (GI, RH). Der Versuch setzte sich aus zehn N-Düngungs-Stufen x vier Sorten x vier Wiederholungen zusammen. Die Organisation und Aufbereitung der Daten wurden mit Microsoft Excel 2016 durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mithilfe der Software R Studio (R Version 3.3.2 für Windows). Als Versuchsdesign diente eine zweifaktorielle randomisierte Blockanlage. Die Standorte wurden separat voneinander ausgewertet. Beide Standorte wurden dreijährig ausgewertet. Zur Auswertung wurde ein lineares Modell mit fixen Faktoren (N-Düngung, Sorte und Jahr) verwendet. Das Modell war wie folgt aufgebaut:

Zielvariable ~ *Jahr* + *Sorte* + *Düngung* + *Jahr: Sorte* + *Jahr: Düngung* + *Sorte: Düngung*

Vor der finalen Auswertung wurde ein gemischtes lineares Modell getestet, das als zufälligen Faktor das Versuchsjahr beinhaltet. Da die Jahreswitterung allerdings sehr großen Schwankungen unterlag und die Effekte verwässerte, wurde der Faktor Jahr als fest angenommen.

Bevor eine Varianzanalyse durchgeführt werden konnte, wurden die Voraussetzungen überprüft. Es wurde eine Residuenanalyse angewendet um eine Normalverteilung der Residuen zu überprüfen. Die Residuen stellen die Abweichungen zum statistischen Modell dar. Wenn die Residuen eine Normalverteilung aufweisen, das bedeutet zufällig

verteilt sind, dann wird davon ausgegangen, dass auch die Daten normalverteilt sind. Diese Vorgehensweise ist etabliert wie auch der Homogenitäts-Test (Bartlett-Test) und der Test auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test). Zum Vergleich wurde der Shapiro-Wilk-Test durchgeführt, um die Normalverteilung zu überprüfen. Allerdings reagiert der Test leicht auf eine geringe Wiederholungsanzahl mit nicht normalverteilten Daten. Es wurde eine zweifaktorielle ANOVA durchgeführt, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$. Wenn der p-Wert kleiner als 0,05 bzw. 5 % war, wurde die Nullhypothese (H_0) verworfen und die Alternativ-Hypothese (H_1) angenommen. Die Nullhypothese setzte voraus, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Prüfgliedmittelwerten bestand. Die H_1 nimmt an, dass signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten vorliegen. Weiterführend wurde der Tukey-Test, ein Post-Hoc-Test durchgeführt, um die paarweisen Mittelwert-Vergleiche durchzuführen. Zusätzlich wurde die deskriptive Statistik berechnet. Dabei wurde das arithmetische Mittel, der Median, die Varianz und weitere Größen bestimmt. Um die Korrelationsbeziehungen zu berechnen wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Feldparameter

4.1.1 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Kornertrag

Gießen

Anhand der statistischen Auswertung der Feldversuche konnte für das Prüfmerkmal Kornertrag am Standort Gießen eine statistisch gesicherte ($p < 0,001$) Hauptwirkung der Prüffaktoren Jahr, Sorte und N-Düngung beobachtet werden (**Tabelle 12**). Diese Hauptwirkungen wurden jedoch von den Wechselwirkungen Jahr x Sorte sowie Jahr x N-Düngung (jeweils $p < 0,001$) überlagert, was auf eine jahresspezifische Ertragsreaktion der Sorten und der N-Düngung schließen ließ. Eine spezifische Reaktion, der Sorte auf die N-Düngung, konnte im Mittel der drei Jahre dagegen nicht beobachtet werden (**Tabelle 12**).

Tabelle 12: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Merkmal Kornertrag von Winterweizen, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,4029	n.s.

Jahr x Sorte

Erwartungsgemäß erzielten die Weizen-Sorten der Qualitätsgruppe A ein höheres Ertragsniveau als die E-Sorten (**Abbildung 22, Tabelle 13**). Auch innerhalb der Qualitätsgruppen konnten Unterschiede festgestellt werden. Die Sorte Helmond erzielte innerhalb des Versuchszeitraums stets den niedrigsten Kornertrag und wies einen signifikanten Unterschied zu Akteur in den Jahren 2016 und 2018 auf. Es zeichnete sich ab, dass RGT Reform absolut betrachtet, in allen drei Jahren, den höchsten Kornertrag bildete, der sich in den Jahren 2016 und 2017 jedoch nicht signifikant von JB Asano unterschied. Die geringsten Schwankungen in der Höhe des Kornertrags wiesen die Sorten RGT Reform und Helmond auf.

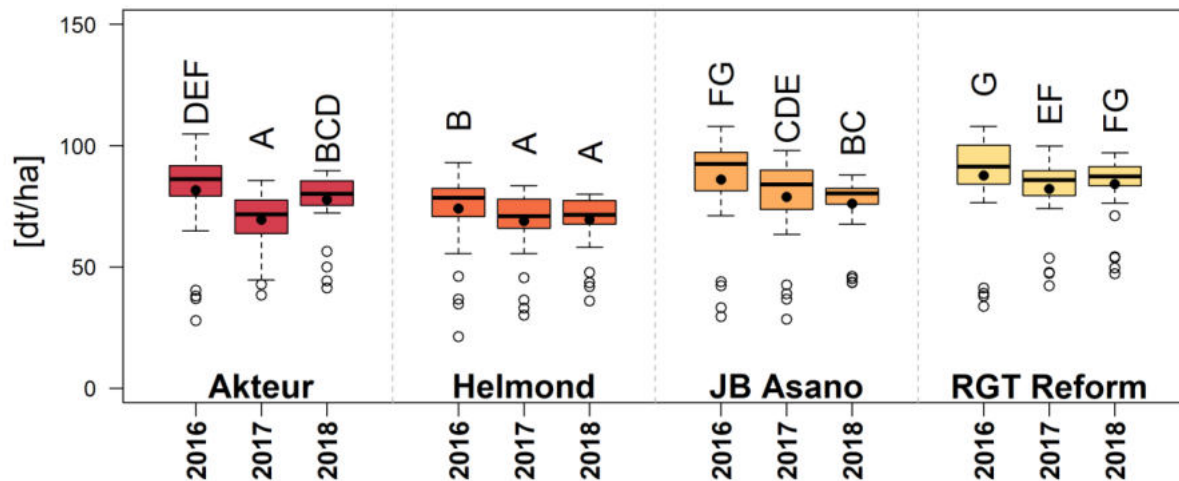


Abbildung 22: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für den Korntrag des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Tabelle 13: Mittlere Korntrträge (dt/ha) der Sorten der einzelnen Versuchsjahre, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen und Rauschholzhausen (2016 bis 2018)

Sorte	2016		2017		2018	
	GI	RH	GI	RH	GI	RH
Akteur	81,7 DEF	80,7 C	69,6 A	96,6 F	77,8 BCD	64,1 A
Helmond	74,1 B	77,7 C	68,9 A	92,8 E	69,6 A	63,1 A
JB Asano	86,0 FG	87,8 D	78,8 CDE	109,8 G	76,1 BC	68,7 B
RGT Reform	87,7 G	98,8 F	82,3 EF	107,9 G	84,2 FG	67,6 B

Jahr x N-Düngung

Im Versuchsjahr 2016 wurde im Mittel aller N-Stufen und Sorten das höchste Ertragsniveau mit 82,4 dt/ha, gefolgt von 2018 (76,9 dt/ha) und 2017 (74,9 dt/ha) erzielt. Alle drei Versuchsjahre unterschieden sich signifikant voneinander, sodass der Jahreseffekt einen großen Einfluss auf die Erträge hatte. Alle Varianten, mit Ausnahme der Kontrolle und der Variante Nr. 8 ($\Sigma 180$ kg N/ha), erzielten im Jahr 2016 die höchsten Erträge (**Abbildung 23**). Die Varianten 2, 6, 7 und 10 erreichten überdies signifikante Unterschiede zu den darauffolgenden Jahren. Den absolut höchsten Korntrag wies die Variante 7 in den Jahren 2016 und 2017 auf, im Jahr 2018 war es allerdings Variante Nr. 5. In der ungedüngten Kontrolle wurde der niedrigste Korntrag ermittelt, der sich im Jahr 2016 (36,5 dt/ha) nicht signifikant zum Jahr 2017 unterschied. Im Vergleich dazu erbrachte die Kontrolle in 2018 (46,6 dt/ha) ein signifikant höheres Ergebnis als im Jahr 2016, sowie ein vergleichbares zu 2017 (**Tabelle 14**). Werden die Varianten 2, 8 und 9 ($\Sigma 180$ kg N/ha), die sich in ihrem verwendeten Düngerverfahren unterschieden, verglichen, fiel auf, dass es keinen

signifikanten Unterschied gab. Eine Ausnahme bildete das Jahr 2016, hier erzielte die Variante 8 (78,0 dt/ha) signifikant geringere Erträge als die Variante 2 (90,1 dt/ha). Die Varianten 3 bis 6 (Σ 200 N/ha) unterschieden sich anhand der Düngungszeitpunkte zur zweiten und dritten N-Gabe. Auch hier konnten, innerhalb der Jahre, keine statistisch gesicherten Unterschiede beobachtet werden. Darüber hinaus war festzustellen, dass Variante 10, trotz des höchsten N-Aufwandes (Σ 240 kg N/ha), nicht die höchsten Erträge aufwies. Der Kornertrag der Variante 5 variierte innerhalb der drei Versuchsjahre am geringsten und wies daher die stabilsten Erträge auf (**Tabelle 14**).

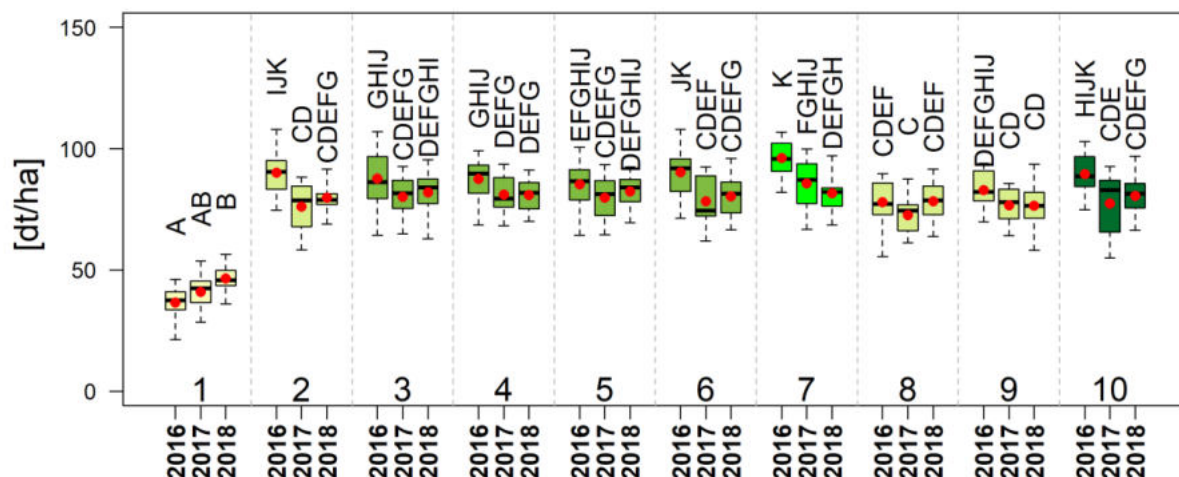


Abbildung 23: Wechselwirkungen zwischen der N-Düngung und dem Versuchsjahr für das Merkmal Kornertrag des Weizens, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamt-Düngemenge. Die Wechselwirkung N-Düngung x Jahr war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey-Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Tabelle 14: Mittlere Kornerträge (dt/ha) der Düngungsvarianten aller Versuchsjahre, Parzellenversuch Gießen (2016 bis 2018)

Variante	2016	2017	2018
1	36,5 A	40,9 AB	46,6 B
2	90,1 IJK	76,0 CD	79,8 CDEFG
3	87,8 GHIJ	80,2 CDEFG	82,0 DEFGHI
4	87,6 GHIJ	81,0 DEFG	80,9 DEFG
5	85,3 EFGHIJ	79,8 CDEFG	82,4 DEFGHIJ
6	90,2 JK	78,3 CDEF	80,4 CDEFG
7	96,1 K	85,7 FGHIJ	81,6 DEFGH
8	78,0 CDEF	72,6 C	78,4 CDEF
9	82,9 DEFGHIJ	76,7 CD	76,6 CD
10	89,5 HIJK	77,5 CDE	80,6 CDEFG

Die homogenen Untergruppen (HU) wurden mithilfe des Tukey Test erstellt.

Rauschholzhausen

Für den Standort Rauschholzhausen bestätigten sich die zuvor für Gießen genannten Haupt- und Wechselwirkungen (**Tabelle 15**). Gleichmaßen gab es keine Wechselwirkung zwischen der N-Düngung und der Sorte.

Tabelle 15: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Merkmal Kornertrag von Weizen, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
Sorte	< 0,001	***
N-Düngung	< 0,001	***
Jahr	< 0,001	***
Jahr x Sorte	< 0,001	***
Jahr x N-Düngung	< 0,001	***
Sorte x N-Düngung	0,6832	-

Jahr x Sorte

In **Abbildung 24** war für alle Sorten der erhebliche Jahreseinfluss zu sehen. Wie zu erwarten, zeichneten sich die A-Weizen, im Vergleich zu den E-Weizen, in jedem Versuchsjahr, durch signifikant höhere Erträge aus (**Tabelle 13**). Wengleich die Erträge der E-Sorten im Jahr 2017 unerwartet hoch ausfielen. Die Unterschiede innerhalb der Qualitätsklassen waren am Standort Rauschholzhausen, im Vergleich zu Gießen, geringer.

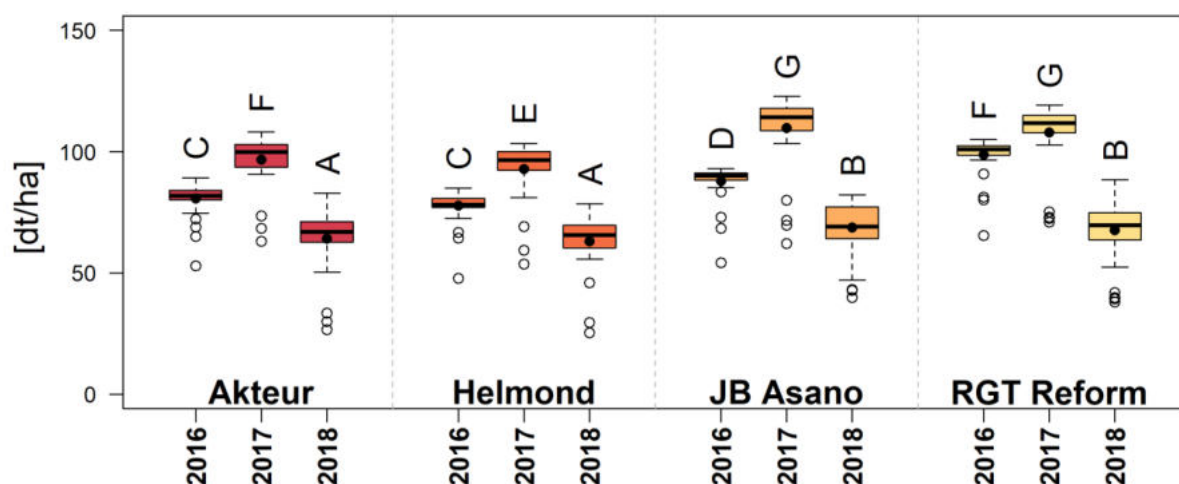


Abbildung 24: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und dem Versuchsjahr für den Kornertrag des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Im Jahr 2017 wurden am Standort RH gegenüber GI deutlich höhere Kornerträge erzielt. Im Versuchsjahr 2018 zeigte sich ein gegensätzliches Ergebnis, sodass GI ein deutlich höheres Ertragsniveau aufwies (**Tabelle 13**). Die Ertragsschwankungen der einzelnen Sorten im Versuchszeitraum waren bei allen vier Sorten vergleichbar (**Tabelle 33**). Insgesamt war festzustellen, dass besonders äußere Einflüsse, wie der Standort und die Jahreswitterung, einen erheblichen Einfluss auf die Erträge der N-Düngevarianten und der Sorten hatten.

Jahr x N-Düngung

Auch in Rauschholzhausen war ein signifikanter Jahreseffekt hinsichtlich des Kornertrags zu erkennen. Im Vergleich zu Gießen schnitt in Rauschholzhausen das Jahr 2017, mit einem Versuchsmittel von 101,8 dt/ha, am besten ab (**Tabelle 16**). Es ergaben sich deutliche Schwankungen für den Kornertrag zwischen den Versuchsjahren. Daher unterschieden sie sich signifikant voneinander. Alle gedüngten Varianten (2 bis 10) des zweiten Versuchsjahrs zeigten einen signifikant überlegenen Kornertrag im Vergleich zu den Jahren 2016 und 2018 (**Abbildung 25**). Für das Jahr 2016 ließen sich keine abgesicherten Unterschiede zwischen den gedüngten Varianten feststellen. Lediglich im Trockenjahr 2018 zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den gedüngten Varianten. Bei einer N-Düngung von mindestens 200 kg N/ha (gesamt) wurden in den Varianten 3 und 5 signifikant höhere Erträge als in der Variante vier erzielt.

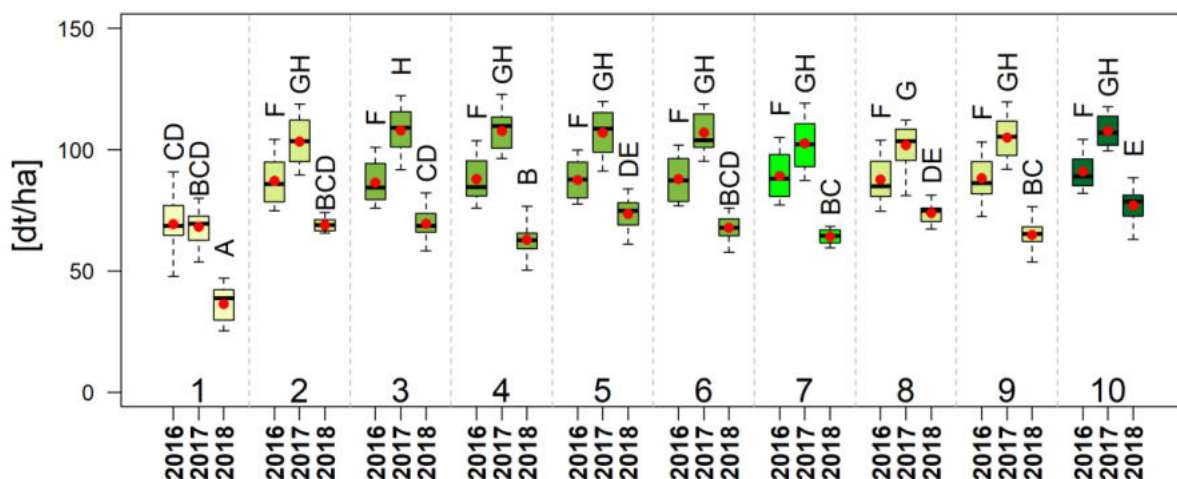


Abbildung 25: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und N-Düngung für den Kornertrag des Weizens, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamtdüngemenge. Die Wechselwirkung Jahr x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Wohingegen sich die Variante 6 nicht signifikant von den Varianten mit gleichem N-Aufwand unterschied. Zwischen den Varianten mit insgesamt 180 kg N/ha (Nr. 2, 8, 9) waren keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. Die ungedüngte Kontrolle wies in den ersten beiden Versuchsjahren ein relativ hohes Niveau von ca. 70 dt/ha auf (**Abbildung 25**). Aufgrund der trockenen und sehr warmen Bedingungen wurde im Jahr 2018 ein deutlicher geringerer Ertrag gemessen.

Wie in **Tabelle 16** zu sehen ist wies Rauschholzhausen im Jahr 2016 (+ 3,9 dt/ha) und 2017 (+ 26,9 dt/ha) ein höheres Ertragsniveau im Vergleich zum Standort Gießen auf. Demgegenüber erreichte der Weizen in Gießen im Jahr 2018 (+ 11 dt/ha) ein höheres Ertragsniveau.

Tabelle 16: Mittelwerte der Kornerträge des Winterweizens des gesamten Versuchs für die Standorte Gießen und Rauschholzhausen in den Jahren 2016 bis 2018

<i>Versuchsjahr</i>	<i>Kornertrag [dt/ha]</i>	
	GI	RH
2016	82,4	86,3
2017	74,9	101,8
2018	76,9	65,9

4.1.2 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die Ährendichte

Gießen

Die Ausprägung der Ährendichte (Ähren/m²) des Weizens unterlag in Gießen den Wechselwirkungen „Jahr x Sorte“, „Jahr x N-Düngung“ sowie „Sorte x N-Düngung“ (**Tabelle 17**). Dieses Ergebnis verdeutlichte, dass zum einem die Witterung einen sehr großen Einfluss hatte und zum anderen die Sorten auf die N-Düngung unterschiedlich reagierten.

Tabelle 17: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Ertragskomponente Ähren/m² des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

<i>Prüffaktoren</i>	<i>p-Wert</i>	<i>Signifikanz</i>
Jahr	< 0,001	***
Sorte	< 0,001	***
N-Düngung	< 0,001	***
Jahr x Sorte	< 0,001	***
Jahr x N-Düngung	< 0,001	***
Sorte x N-Düngung	0,037	*

Jahreseffekt

Der Einfluss des Jahres war signifikant am Standort Gießen. Im Jahr 2017 wurde die höchste Ährendichte erreicht (503 Ähren/m²) (**Abbildung 26**). Gleichzeitig wurde in 2017 der niedrigste Kornertrag erzielt. Hier ließ sich ein gegenläufiger Trend erkennen. Die niedrigste Anzahl an Ähren wurde in 2018 festgestellt (415 Ähren/m²). Dazwischen lag das Jahr 2016 mit 435 Ähren/m².

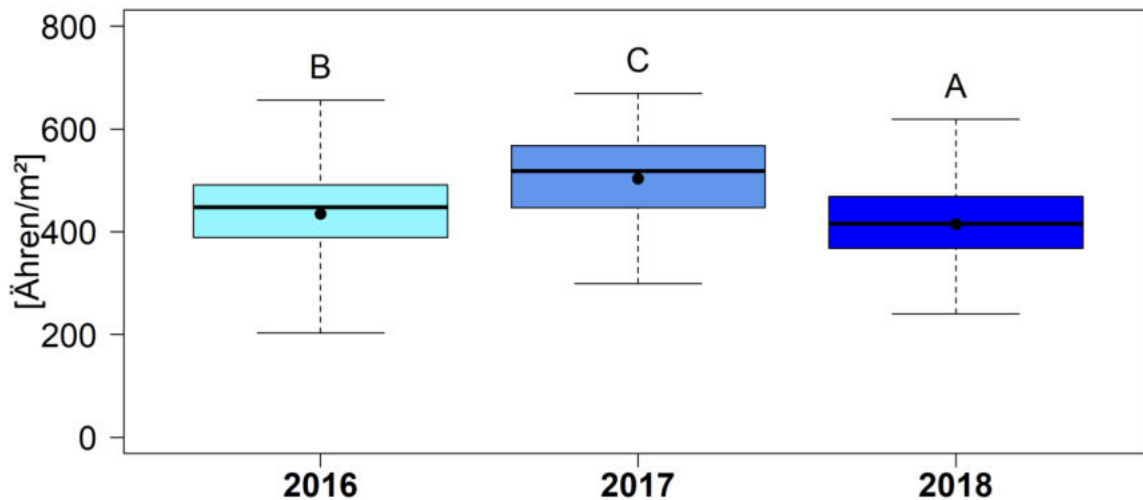


Abbildung 26: Einfluss des Versuchsjahrs auf die Anzahl an Ähren pro m² des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Sorte x N-Düngung

Festzustellen war, dass die Sorten auf die variierende Terminierung und Dosierung der N-Düngung unterschiedlich reagierten. Betrachtete man die Varianten Nr. 2 (120-Nmin/60/0) und Nr. 3 (120-Nmin/80/0) dann fiel auf, dass die Einzelährentypen (Akteur und JB Asano) auf die erhöhte zweite Gabe mit einem Anstieg der Ähren/m² reagierten. Dagegen konnte bei den Helmond Sorten und RGT Reform, die als Bestandesdichtentypen eingruppiert werden, ein leichter Rückgang festgestellt werden. Absolut betrachtet, erzielte die Sorte RGT Reform die höchste Ährendichte. Bezogen auf die Düngeform fiel auf, dass die CULTAN-Varianten (Nr. 8 bis 10) tendenziell niedrigere Ährendichte erzielten als die mit KAS gedüngten Varianten (Nr. 2 und 7) (**Abbildung 27**).

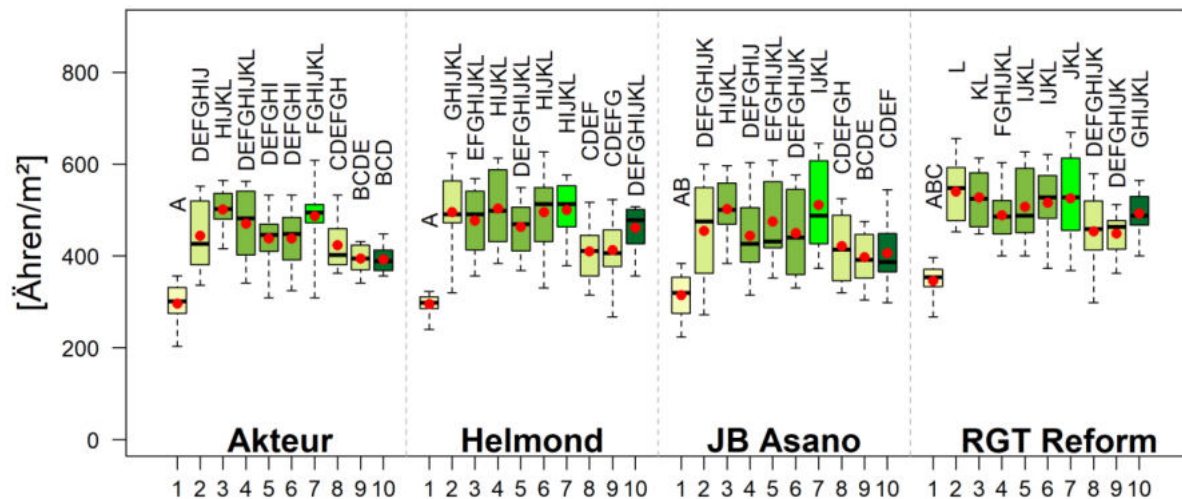


Abbildung 27: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für die Anzahl an Ähren pro m² des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Sorte x N-Düngung war signifikant ($p = 0,037$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Rauschholzhausen

Im Weizenversuch am Standort Rauschholzhausen wurden signifikante Hauptwirkungen (Jahr, Sorte, N-Düngung) beobachtet, die jedoch von den Wechselwirkungen Sorte x Jahr und Jahr x N-Düngung überlagert wurden. Es konnte festgestellt werden, dass die Sorten sehr ähnlich auf die unterschiedlichen N-Varianten reagiert haben.

Tabelle 18: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Ährenanzahl pro m² des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,293	n.s.

Jahr x Sorte

Trotz signifikanter Ertragsunterschiede, zwischen den Jahren 2016 und 2017 konnte am Standort Rauschholzhausen (**Abbildung 24**) kein Unterschied für die Ertragskomponente Ähren/m² festgestellt werden (**Abbildung 28**). Nur die Sorte Helmond bildete im ersten Jahr signifikant mehr ährentragende Halme. Trotz allem zeigten alle vier Sorten im Versuchsjahr 2018 die größte Ährendichte, mit Ausnahme von Helmond. Obwohl die Sorten unterschiedlichen Ertragsbildungstypen angehören, gab es kaum Unterschiede, in der Zahl der ährentragenden Halme, innerhalb der Jahre. Im dreijährigen Mittel bildeten die Sorten Akteur (GI: 429, RH: 464), Helmond (GI: 452, RH: 499) und JB Asano (GI: 438, RH: 470) eine etwas höhere Anzahl an Ähren/m² als in Gießen. Die Sorte RGT Reform erzielte an beiden Standorten vergleichbare Werte (GI: 485, RH: 488).

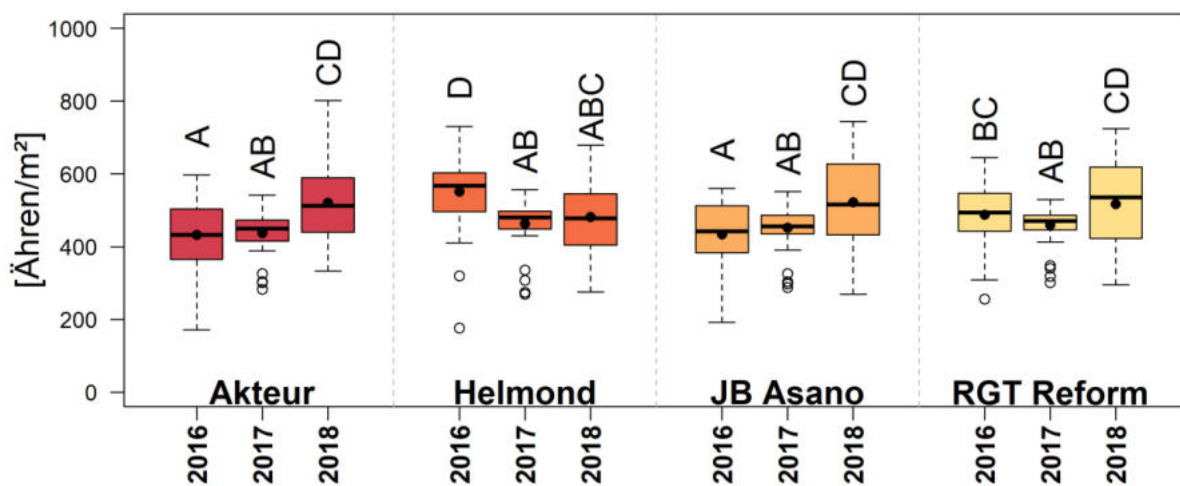


Abbildung 28: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und dem Versuchsjahr für die Anzahl an Ähren pro m² des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Jahr x N-Düngung

In **Abbildung 29** wurde die Interaktion zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung dargestellt. Zu sehen ist, dass die mit KAS gedüngten Varianten Nr. 2 ($\Sigma 180$ kg N/ha) bis Nr. 7, ($\Sigma 220$ kg N/ha) sich weder zwischen den Jahren, noch innerhalb der drei Versuchsjahre unterschieden. Die Kontrolle erzielte erwartungsgemäß signifikant weniger Ähren/m² im Vergleich mit den gedüngten Varianten. Auch hier ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren. Im Jahr 2018 erreichten die CULTAN-Varianten 8 ($\Sigma 180$ kg N/ha) bis 10 ($\Sigma 240$ kg N/ha) tendenziell höhere Werte im Vergleich mit den Varianten Nr. 2 bis Nr. 7. In diesem Ausnahmejahr erzielte die Variante Nr. 10, absolut betrachtet, die höchste

Ährendichte. Sie unterschied sich allerdings nicht signifikant zu den Varianten Nr. 2, 3, 8 und 9.

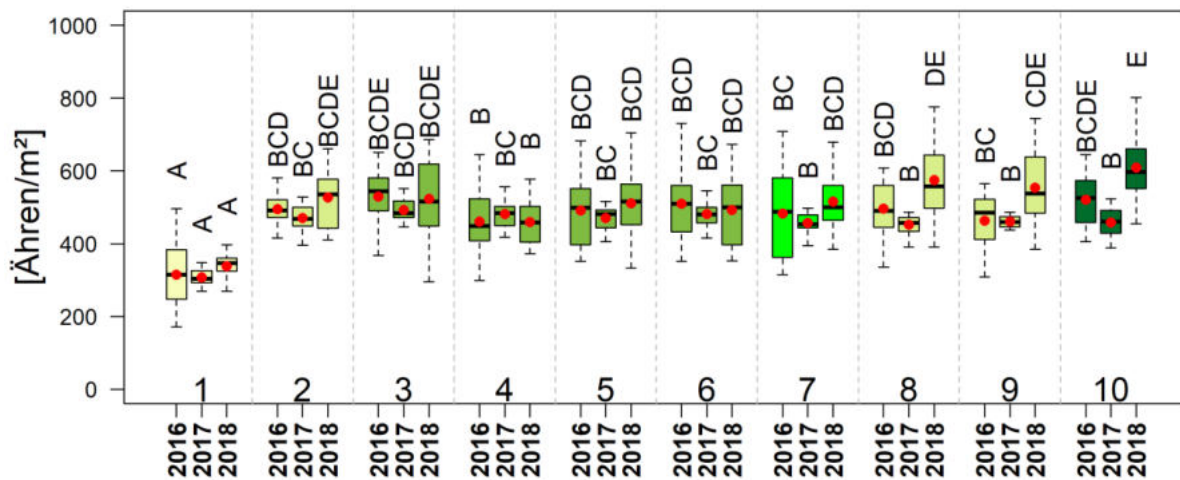


Abbildung 29: Wechselwirkungen zwischen der N-Düngung und dem Versuchsjahr für die Anzahl an Ähren pro m² des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.1.3 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die Tausendkornmasse

Gießen

Bezüglich der TKM-Werte des Weizens in Gießen konnte gezeigt werden, dass alle Haupteffekte und die Wechselwirkungen, bis auf Sorte x N-Düngung signifikante Unterschiede aufwiesen (**Tabelle 19**). Somit hatte die Jahreswitterung einen erheblichen Anteil an den erzielten Ergebnissen. Die Sorten haben auf die unterschiedlichen N-Varianten in gleicher Weise reagiert.

Tabelle 19: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Tausendkornmasse des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	< 0,001	***

Jahreseffekt

Der Einfluss des Versuchsjahrs war für den Parameter Tausendkornmasse signifikant. Im Jahr 2016 wurden die höchste TKM (53 g) und in 2017 die geringste TKM (47 g) erreicht. Das letzte Versuchsjahr lag dazwischen und kam auf einen Mittelwert von 50 g (**Abbildung 30**).

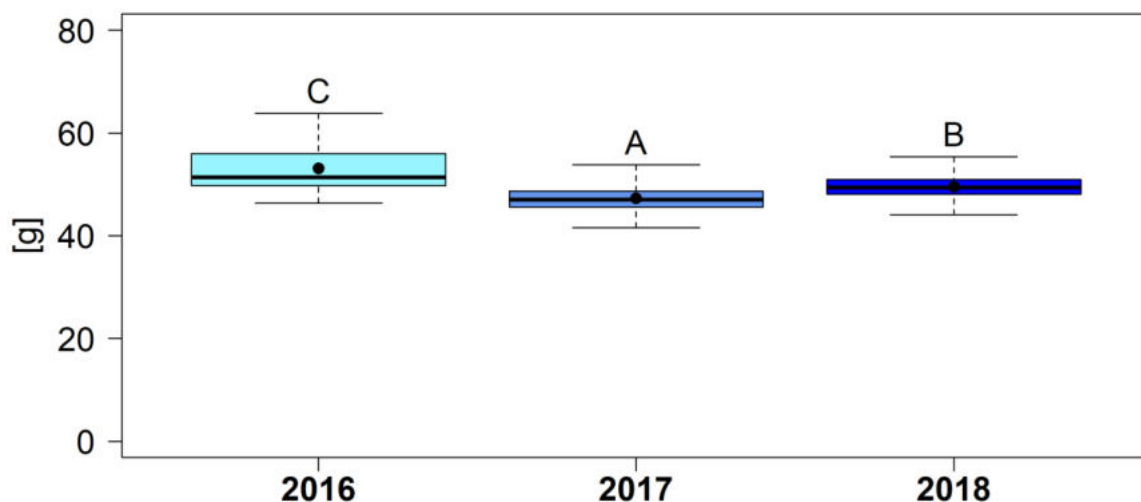


Abbildung 30: Einfluss des Versuchsjahrs auf die Tausendkornmasse des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Sorte x N-Düngung

In **Abbildung 31** ist zu erkennen, dass es für den untersuchten Parameter TKM eine Interaktion zwischen Sorte und N-Düngung im Zeitraum von 2016 bis 2018 gab. Verglichen mit den anderen Sorten fiel direkt auf, dass die Sorte JB Asano signifikant höhere Werte, aufwies. Weiterhin war zu beobachten, dass die Varianz innerhalb der

einzelnen Düngevarianten deutlich größer, als die der anderen Sorten, war. Für die Sorte JB Asano, Akteur und RGT Reform schnitten die Varianten 4, 5, 9 und 10 tendenziell am besten ab. Helmond wies die niedrigsten Werte auf.

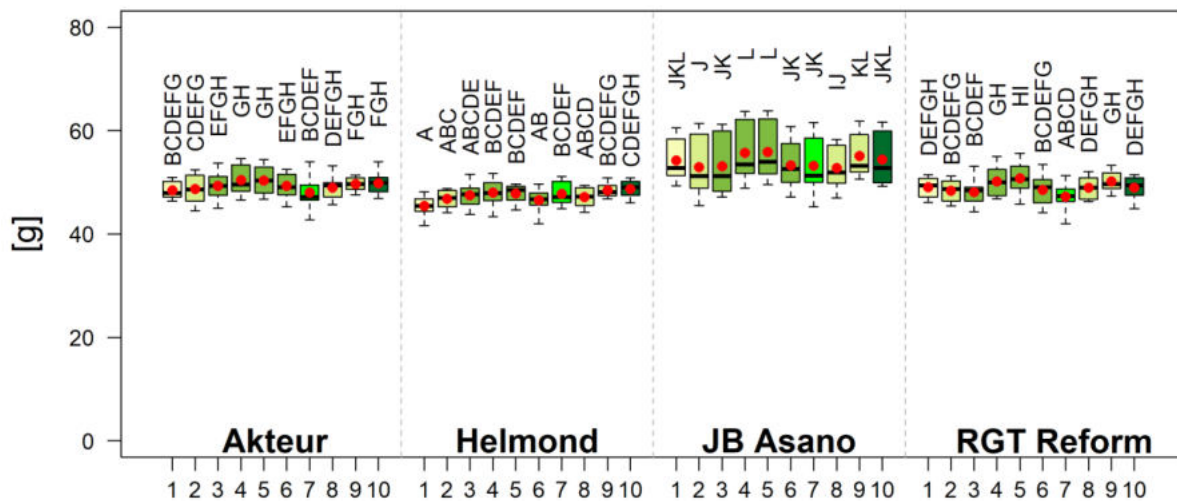


Abbildung 31: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für die Tausendkornmasse des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Sorte x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Rauischholzhausen

Anhand der statistischen Auswertung konnte festgestellt werden, dass alle Hauptwirkungen, sowie die Wechselwirkungen, signifikante Effekte aufwiesen (**Tabelle 20**). Wie auch für bereits beschriebene Parameter hatte das Jahr einen entscheidenden Einfluss auf die Düngungsvarianten und die verwendeten Sorten. Weiterhin war zu erkennen, dass die Sorten unterschiedlich auf die N-Düngung reagiert haben.

Tabelle 20: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Tausendkornmasse des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,002	**

Jahreseffekt

Zwischen den Standorten gab es erhebliche Unterschiede bezüglich der Rangfolge der Jahre. In RH unterschieden sich die Jahre signifikant voneinander. Hier wurde im Jahr 2017 die höchste TKM erreicht (52 g). Dagegen konnte die niedrigste TKM im letzten Versuchsjahr festgestellt werden (46 g). Im ersten Versuchsjahr wurde ein Mittelwert von 51 g beobachtet (**Abbildung 32**).

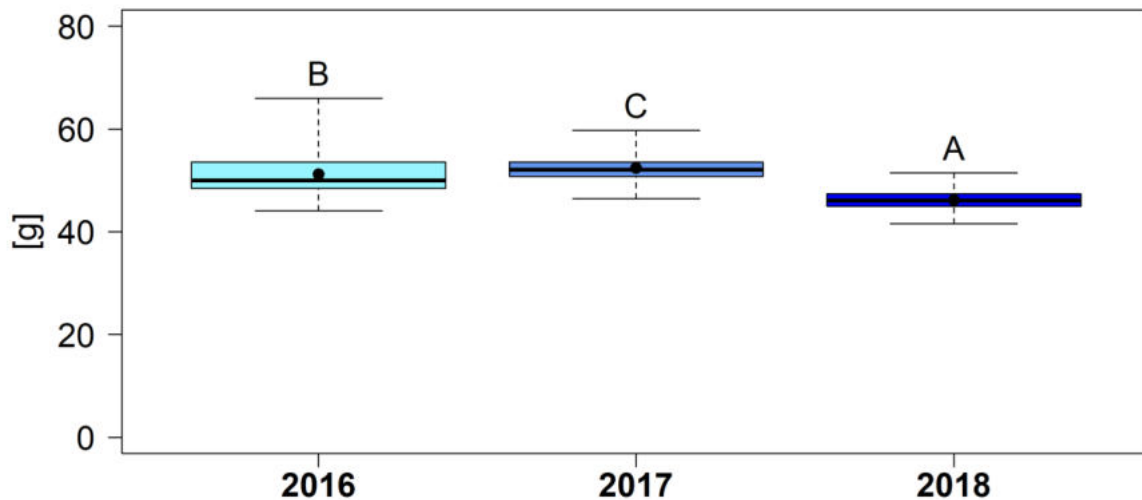


Abbildung 32: Einfluss des Versuchsjahrs auf die Tausendkornasse des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Sorte x N-Düngung

In **Abbildung 33** ließ sich erkennen, dass die Sorte JB Asano ein signifikant höheres Niveau für die TKM aufwies. Eine vergleichbare Reaktion konnte auch am Standort Gießen beobachtet werden. Die Variation innerhalb der Düngevarianten fiel auch hier, im Vergleich zu den anderen Sorten, größer aus. Die drei übrigen Sorten bewegten sich auf einem Niveau. Betrachtet man die absoluten Werte konnte Variante 9 sich etwas hervorheben.

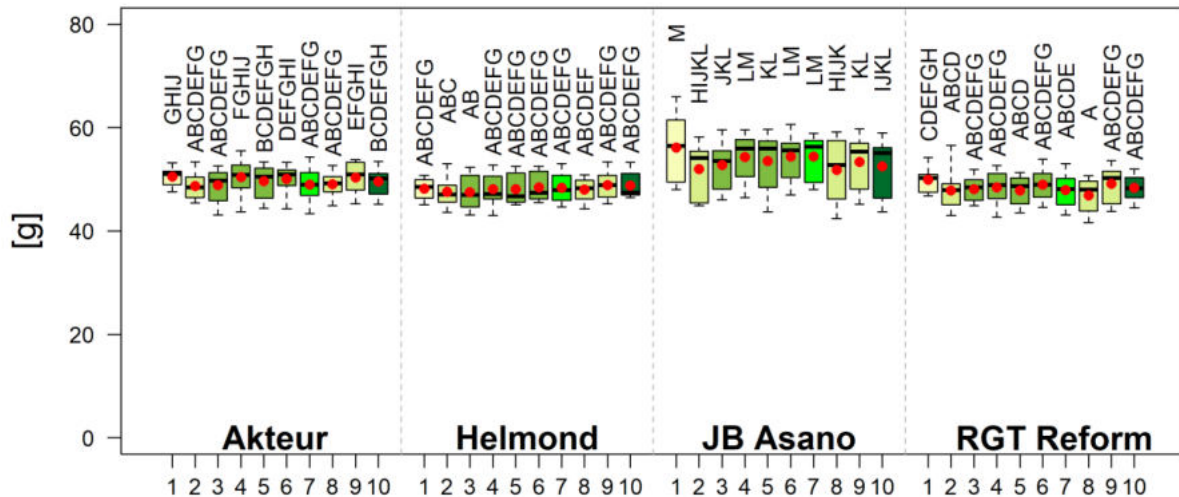


Abbildung 33: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für die Tausendkornmasse des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Sorte x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,002$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.1.4 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die N-Entzüge durch den Weizen

Gießen

In der nachfolgenden Tabelle sind die statistischen Ergebnisse der Varianzanalyse für die N-Entzüge des Weizens abgebildet. Die Hauptwirkungen waren höchstsignifikant, wurden jedoch von den Wechselwirkungen Jahr x Sorte sowie Jahr x N-Düngung überdeckt. Auch für diesen Parameter war zu erkennen, dass die Einzeljahre eine große Variabilität aufwiesen.

Tabelle 21: Ergebnisse der Varianzanalyse für die N-Entzüge des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,541	n.s.

Jahr x Sorte

Es ergab sich ein interessantes Ergebnis für den Parameter N-Entzug durch den Weizenbestand. Für das erste Jahr konnten keine abgesicherten Unterschiede zwischen den Qualitätsgruppen bzw. Sorten festgestellt werden. In 2017 konnten die A-Sorten (As: 161; Re: 163 kg N/ha) signifikant mehr Stickstoff, verglichen mit den E-Sorten (Ak: 148; He: 148 kg N/ha), aus der Düngung und/oder dem Bodenvorrat entnehmen. Im letzten Versuchsjahr lagen die E-Sorten und JB Asano auf einem vergleichbarem Niveau (164; 160; 164 kg N/ha). Nur die A-Sorte RGT Reform erreichte ein signifikant höheres Niveau (175 kg N/ha). Verwunderlich war, dass absolut betrachtet in dem Trockenjahr 2018 alle Sorten die höchsten N-Entzüge aufwiesen. Die schwarzumrandeten Punkte stellen die Einzelwerte der Kontrolle dar (**Abbildung 34**).

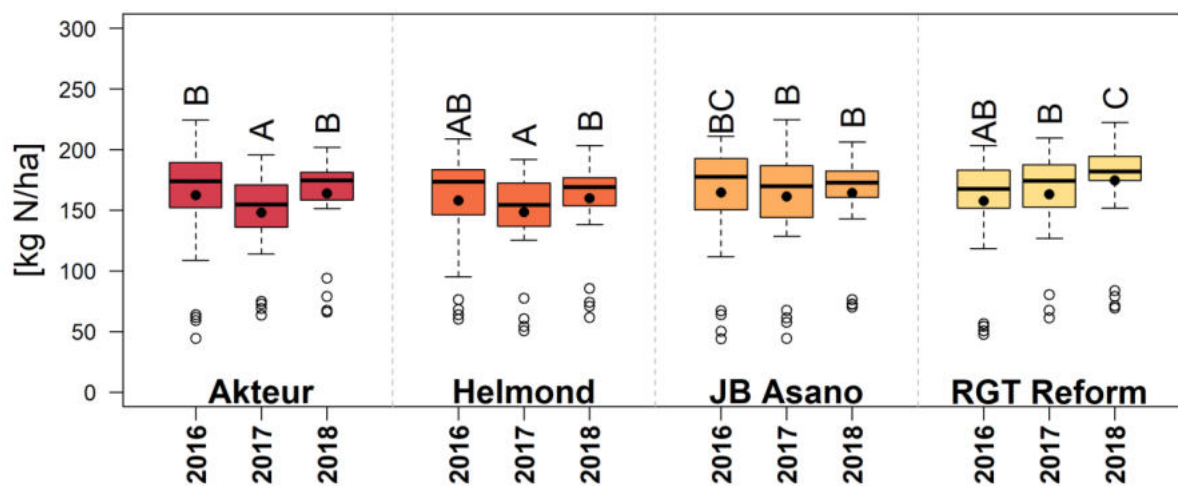


Abbildung 34: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und dem Versuchsjahr für die N-Entzüge des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war signifikant ($p = 0,015$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin. Die schwarzumrandeten Punkte, unterhalb der Boxplots, repräsentieren die Einzelwerte der Null-Varianten. Sie werden als Ausreißer angezeigt, da sie über 1,5 Boxenlängen von den übrigen Werten entfernt waren.

Jahr x N-Düngung

Im ersten Jahr gab es für die N-Aufnahme des Weizens kaum Unterschiede zwischen den Varianten (**Abbildung 35**). Die Variante Nr. 7 erzielte, absolut betrachtet, den höchsten Entzug (200 kg N/ha). Sie unterschied sich jedoch nicht signifikant zu den Varianten 4 (182 kg N/ha) und 10 (184 kg N/ha). Die Variante 8 wies die niedrigste N-Aufnahme der gedüngten Varianten (133 kg N/ha) auf. Die Variante Nr. 9 (155 kg N/ha) konnte mit der Nr. 2 und 3 mithalten (jeweils 172 kg N/ha). Insgesamt wurde über alle Düngungsvarianten im zweiten Jahr weniger Stickstoff aufgenommen und es konnten deutlichere Unterschiede zwischen den gedüngten

Varianten festgestellt werden. Zwischen den 180er Varianten (2, 8 und 9) konnten Unterschiede eruiert werden. Die Varianten 2 und 9 bewegten sich auf einem vergleichbarem Level. Variante 8 hingegen unterlag beiden und stellte wiederholt die niedrigsten Entzüge der gedüngten Varianten dar (132 kg N/ha). Zwischen den Varianten, die eine N-Menge von 200 kg N/ha erhielten (3 bis 6), gab es keine statistisch abzusichernden Unterschiede. Die Variante Nr. 7 unterschied sich nicht zu den Varianten Nr. 4, 5 und 10. In dem außergewöhnlich trockenen Jahr 2018 stiegen die N-Entzüge für die meisten Varianten im Vergleich zu den vergangenen Jahren wieder an. Ausgenommen von der Variante 7. Die Varianten 2 bis 4, 6, 7 bis 9 unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Variante 5 wies eine signifikant höhere N-Aufnahme als Variante Nr. 2 und 8 auf. Die Variante Nr. 10 (194 kg N/ha) unterschied sich nicht zu den Varianten 4, 5 und 7 (179; 184; 180 kg N/ha). Tendenziell stieg die N-Aufnahme mit steigender N-Menge.

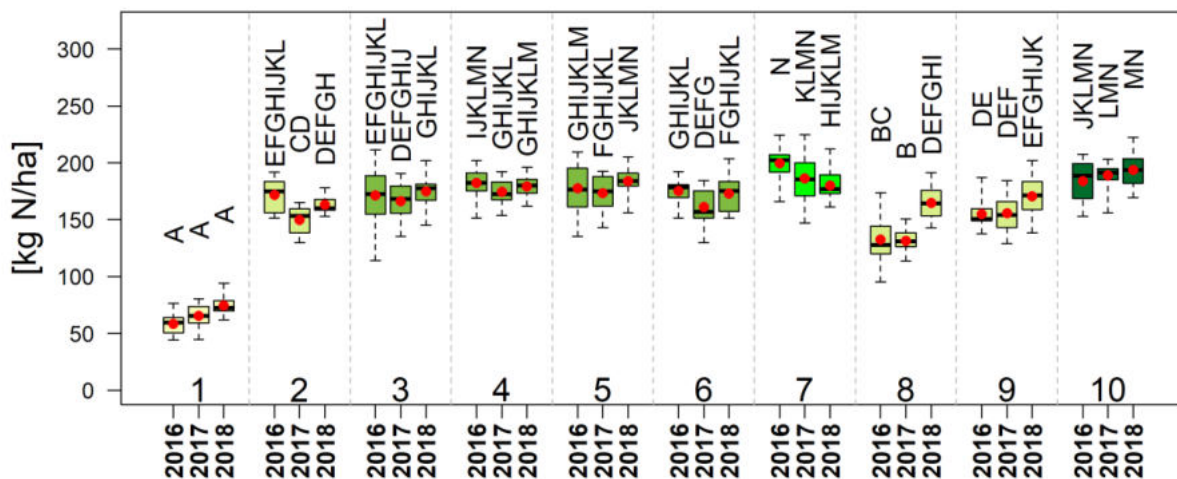


Abbildung 35: Wechselwirkungen zwischen der N-Düngung und dem Versuchsjahr für die N-Entzüge des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Raischholzhausen

Die Ergebnisse, die mithilfe des Programmes RStudio erstellt wurden, zeigten ein vergleichbares Bild zum Standort Gießen. Es konnten signifikante Ergebnisse für die Haupteffekte, sowie für die Wechselwirkungen zwischen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung, in RH festgestellt werden (**Tabelle 22**).

Tabelle 22: Ergebnisse der Varianzanalyse für die N-Entzüge des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
Jahr	< 0,001	***
Sorte	< 0,001	***
N-Düngung	< 0,001	***
Jahr x Sorte	< 0,001	***
Jahr x N-Düngung	< 0,001	***
Sorte x N-Düngung	0,747	n.s.

Jahr x Sorte

In **Abbildung 36** sind die N-Entzüge der Weizensorten am Versuchsstandort Rauischholzhausen dargestellt. Dort fiel die N-Aufnahme in den ersten beiden Jahren deutlich höher aus (\bar{x} 2016: 195 kg N/ha; \bar{x} 2017: 200 kg N/ha), als in Gießen (\bar{x} 2016: 161 kg N/ha; \bar{x} 2017: 155 kg N/ha). Im letzten Jahr zeigte GI die höhere (\bar{x} GI 2018: 166 kg N/ha) und RH die niedrigste N-Aufnahme durch den Pflanzenbestand (\bar{x} RH 2018: 134 kg N/ha). Im ersten Jahr lagen die E-Sorten und JB Asano auf einem vergleichbarem Niveau, wohingegen RGT Reform eine signifikant höhere N-Aufnahme aufwies. Im darauf folgenden Jahr nahmen die Sorten Akteur, Helmond und RGT Reform eine vergleichbare Menge an Stickstoff auf. Die A-Sorte JB Asano wies einen signifikant höheren N-Entzug auf. Im dritten Jahr gab es keine Unterschiede zwischen den vier Sorten bezüglich der N-Aufnahme.

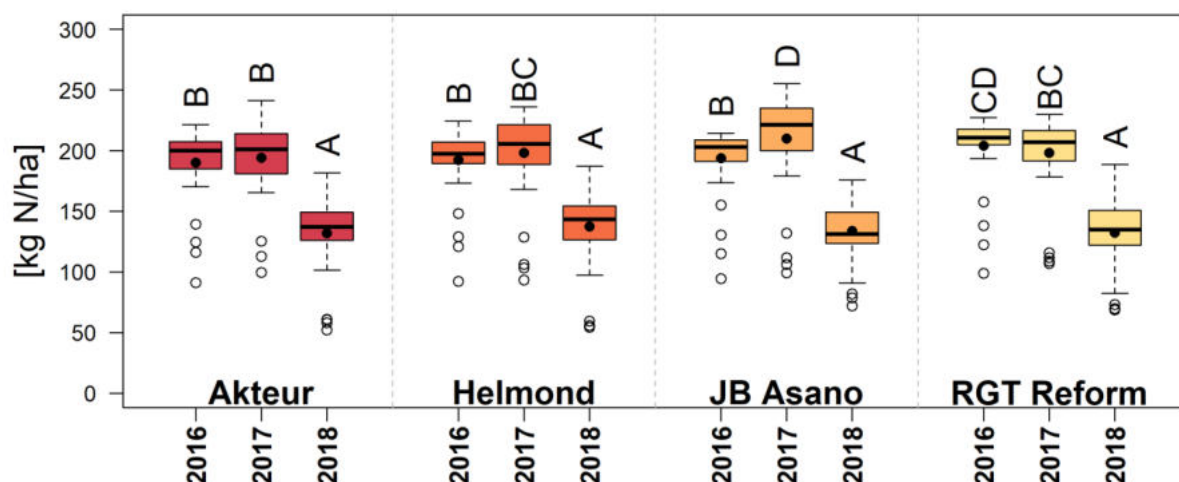


Abbildung 36: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und dem Versuchsjahr für die N-Entzüge des Weizens in Rauischholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war signifikant ($p = 0,015$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Jahr x N-Düngung

Im ersten Jahr fielen die Unterschiede zwischen den Varianten sehr gering aus. Es gab keine respektiven Unterschiede zwischen den Varianten 2 bis 7 und 9 (**Abbildung 37**). Die höchstgedüngte Variante Nr. 10 erzielte, absolut betrachtet, die höchste N-Aufnahme (214 kg N/ha). Sie unterschied sich aber nicht zu den meisten anderen Varianten. Im Jahr 2017 zeigten sich ähnliche Ergebnisse. Im letzten Versuchsjahr konnten deutlich geringere N-Entzüge realisiert werden. Die Variante Nr. 10 erzielte die signifikant höchste N-Aufnahme (174 kg N/ha). Die Varianten Nr. 2, 8 und 9 (Σ 180 kg N/ha) zeigten eine vergleichbare N-Aufnahme. Zwischen den Varianten 3 bis 6 (Σ 200 kg N/ha) gab es signifikante Unterschiede. Die Variante Nr. 5 erreichte, in absoluten Zahlen, die höchste N-Aufnahme (151 kg N/ha) und war vergleichbar mit Variante Nr. 3. Die Varianten 4 und 6 zeigten eine etwas niedrigere N-Aufnahme, aber bewegten sich auf einem vergleichbaren Niveau. Die Variante 7 konnte mit den Varianten 3, 4, 6 sowie 9 gleich ziehen.

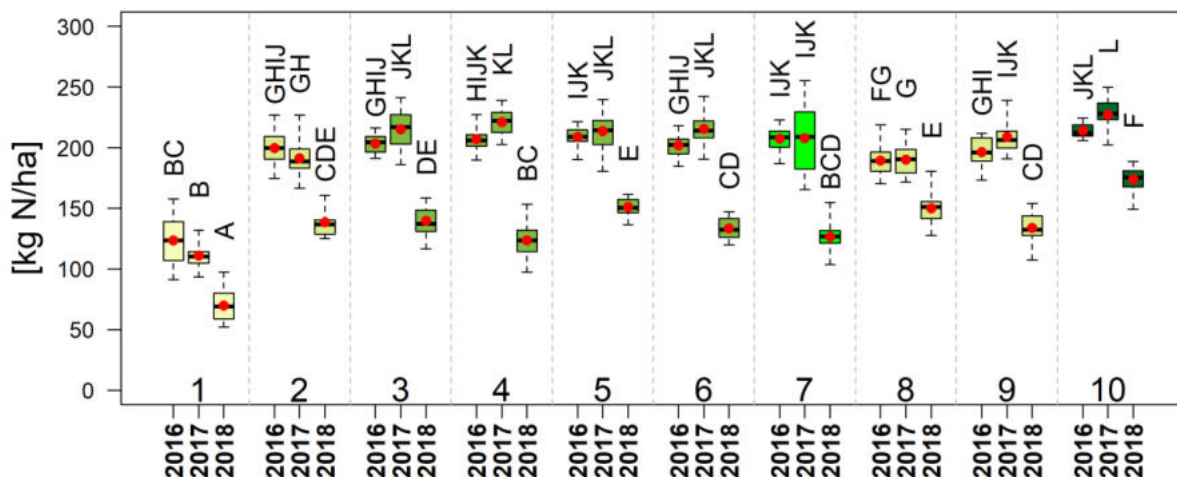


Abbildung 37: Wechselwirkungen zwischen der N-Düngung und dem Versuchsjahr für die N-Entzüge des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.1.5 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die Stickstoffnutzungs-effizienz durch den Weizen

Gießen

Auf Basis der statistischen Auswertung konnte dargelegt werden, dass es signifikante Unterschiede für die Hauptwirkungen für die Stickstoffnutzungseffizienz bzw. Nitrogen Use Efficiency (NUE) gab. Zusätzlich wiesen die Wechselwirkungen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung statistisch abgesicherte Ergebnisse auf. Zwischen der Sorte und der N-Düngung gab es keine statistisch abgesicherten Ergebnisse (**Tabelle 23**).

Tabelle 23: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Nitrogen Use Efficiency (NUE) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	0,020	*
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,161	n.s.

Jahr x Sorte

In der nachfolgenden Abbildung wurde die Stickstoffnutzungseffizienz der Sorten am Standort Gießen dargestellt. Insgesamt betrachtet war die NUE in allen drei Jahren verhältnismäßig gering (2016: 45; 2017: 38; 2018: 41 %). Im Vergleich der Jahre konnten die Pflanzen den Stickstoff in 2016 am besten ausnutzen. Dagegen war die Stickstoffnutzungseffizienz über alle Sorten in 2017 am niedrigsten. Absolut betrachtet erreichte die A-Sorte RGT Reform in allen drei Jahren den höchsten Entzug (47; 42; 45 %). Allerdings unterschieden sich JB Asano in 2016 und 2017 und Akteur in 2016 nicht signifikant von RGT Reform. Tendenziell wies die Sorte Helmond in allen drei Jahren die geringste Ausnutzung auf (42; 35; 37 %).

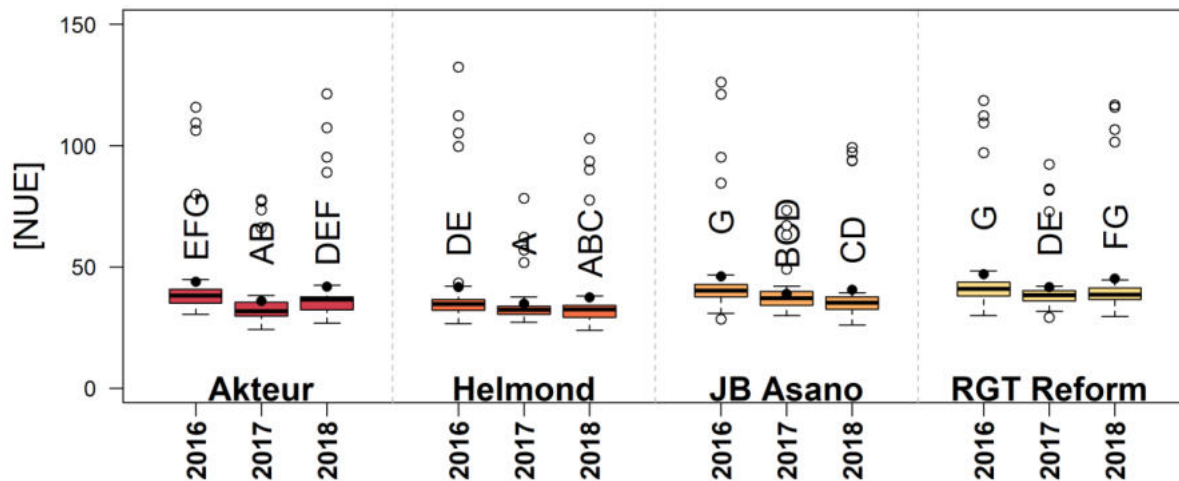


Abbildung 38: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und dem Versuchsjahr für die Nitrogen Use Efficiency (NUE) des Weizens (%) in Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war signifikant ($p = 0,017$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin. Die schwarzumrandeten Punkte, oberhalb der Boxplots, repräsentieren die Einzelwerte der Null-Varianten. Sie werden als Ausreißer angezeigt, da sie über 1,5 Boxenlängen von den übrigen Werten entfernt lagen.

Jahr x N-Düngung

In **Abbildung 39** wurde die Stickstoffnutzungseffizienz für die Wechselwirkung zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung dargestellt. In allen drei Jahren erreichten die Nullvarianten eine vielfach höhere Ausnutzung (70 bis 108 %). Im Jahr 2016 gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den gedüngten Varianten Nr. 2 bis 9. Die Variante 10 wies dazu eine signifikant niedrigere Nutzungseffizienz auf (32 %). Im zweiten Versuchsjahr bot sich ein ähnliches Bild dar. Allerdings hoben sich die Varianten 2 und 9 (jeweils 37 %) signifikant von der Variante 10 (30 %) ab. Im letzten Versuchsjahr gab es keinen statistisch nachweisbaren Unterschied zwischen den Varianten 2 bis 6, 8 und 9. Die Variante Nr. 7 unterschied sich nicht zu den Varianten 3 bis 6, 8, 9 und 10. Sie wies jedoch einen signifikant niedrigeren Wert als Variante Nr. 2 auf (32 zu 38 %).

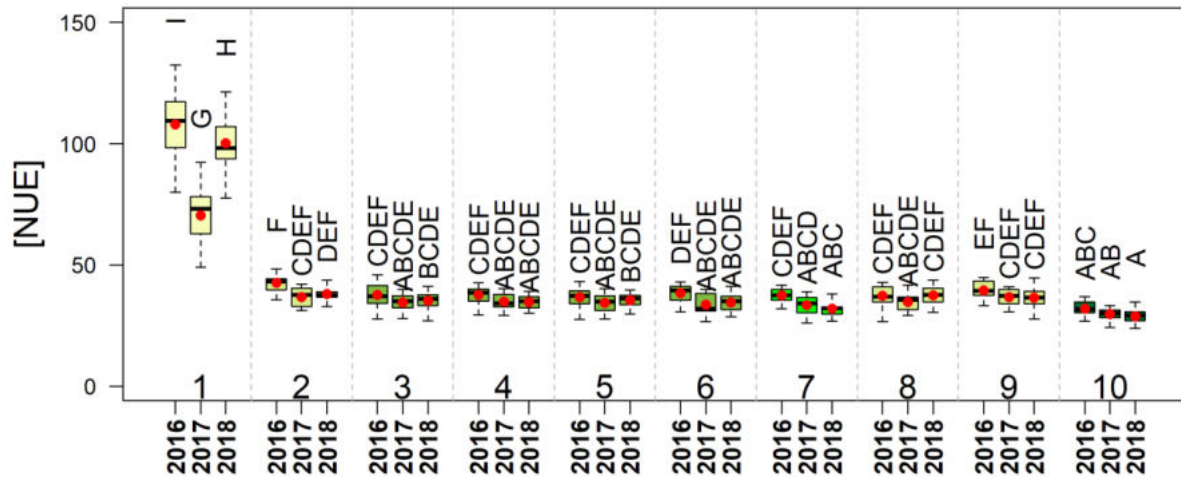


Abbildung 39: Wechselwirkungen zwischen der N-Düngung und dem Versuchsjahr für die Nitrogen Use Efficiency (NUE) des Weizens (%) in Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Rauischholzhausen

Anhand der statistischen Auswertung stellte sich heraus, dass sowohl die Haupteffekte, als auch alle Wechselwirkungen, signifikante Unterschiede aufwiesen. In diesem Fall war nicht nur das Jahr eine wichtige Einflussgröße, denn die Sorten zeigten unterschiedliche Reaktionen in Abhängigkeit von der N-Düngung (**Tabelle 24**).

Tabelle 24: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Nitrogen Use Efficiency des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	< 0,001	***

Sorte x N-Düngung

In **Abbildung 40** wurden die Wechselwirkungen zwischen der Weizensorte und der N-Düngung dargestellt. Die Null-Varianten erzielten eine deutlich bessere Stickstoffnutzungseffizienz, als die gedüngten Varianten. Sie unterschieden sich signifikant. Tendenziell erzielten die A-Sorten eine etwas bessere NUE als die E-Sorten. Dies konnte statistisch nicht abgesichert werden. Bei näherer Betrachtung zeigte sich, dass alle Sorten für die Varianten Nr. 7 (Σ 220 kg N/ha) und 10 (Σ 240 kg N/ha) eine niedrigere N-Effizienz aufwiesen. Wohingegen die Pflanzen den vorhandenen Stickstoff der CULTAN-Varianten 8 und 9 (Σ 180 kg N/ha) am effizientesten nutzen konnten. Insgesamt waren die Unterschiede allerdings nicht sehr groß. Wurden die Standorte miteinander verglichen, konnte festgestellt werden, dass die NUE der gedüngten Varianten am Standort Rauschholzhausen, über die drei Versuchsjahre, etwas höher war als in Gießen (RH: 38 %; GI: 36 %).

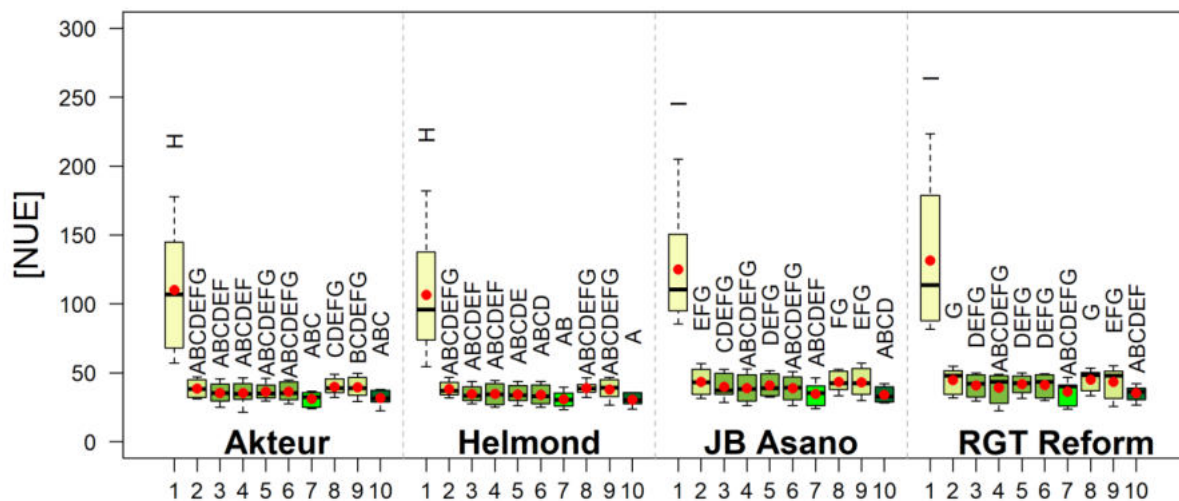


Abbildung 40: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für die Nitrogen Use Efficiency (NUE) des Weizens (%) in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Sorte x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.1.6 Einfluss der N-Düngung auf den Rest-N-Gehalt des Bodens nach der Ernte

Gießen

Am Standort Gießen konnten keine signifikanten Unterschiede für den Faktor N-Düngung und für die Interaktion zwischen N-Düngung und Versuchsjahr erfasst werden. Wohingegen ein signifikanter Jahreseffekt beobachtet werden konnte (**Tabelle 25**).

Tabelle 25: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Rest-N-Gehalt im Boden, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2017

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	0,644	n.s.
<i>Jahr x N-Düngung</i>	0,814	n.s.

Jahreseffekt

Über alle N-Varianten blieb im Jahr 2017 (\bar{x} 34 kg N/ha) signifikant mehr Stickstoff im Boden zurück, als in 2016 (\bar{x} 20 kg N/ha) (**Abbildung 41**). Innerhalb der Einzeljahre gab es keine signifikanten Unterschiede für den Rest-N-Gehalt zwischen den Varianten.

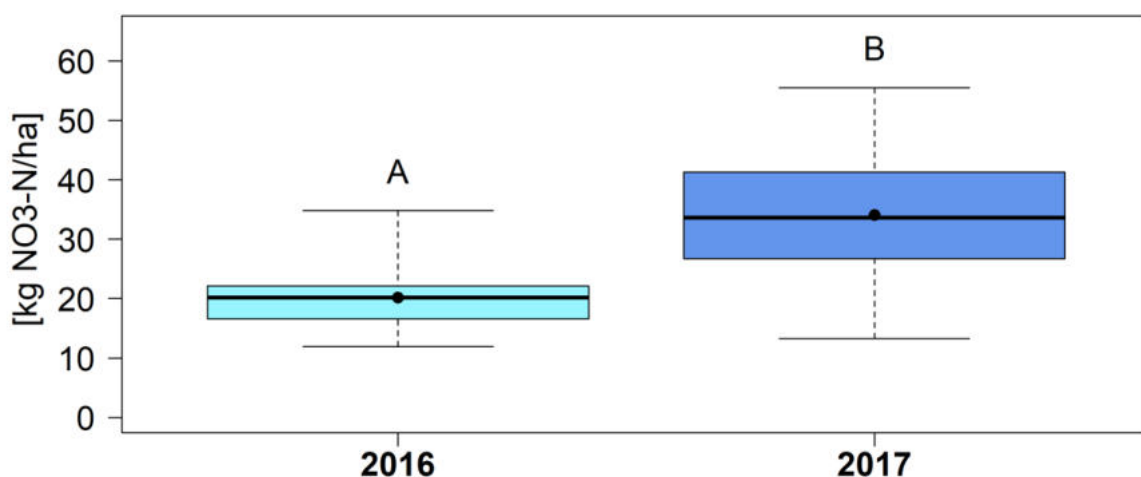


Abbildung 41: Einfluss des Versuchsjahres für den Parameter Rest-N nach der Ernte im Boden (0-60 cm), Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2017. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Hauptwirkung Versuchsjahr war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Rauischholzhausen

In Rauischholzhausen konnte wie auch in GI ausschließlich ein signifikanter Jahreseffekt nachgewiesen werden. Zwischen den N-Düngungsvarianten konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (**Tabelle 26**).

Tabelle 26: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Rest-N-Gehalt im Boden, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	0,470	n.s.
<i>Jahr x N-Düngung</i>	0,054	n.s.

Jahreseffekt

Am Standort Rauischholzhausen konnte zwischen den Jahren signifikante Unterschiede für den Rest-N-Gehalt im Mittel der Varianten festgestellt werden. Wie auch in Gießen wurde im Jahr 2017 (19 kg N/ha) signifikant mehr Stickstoff nach der Ernte, als in 2016 (15 kg N/ha) vorgefunden. Die Werte bewegen sich jedoch, verglichen mit Gießen, auf einem niedrigeren Niveau. Die höchsten Rest-N-Gehalte konnten im Jahr 2018 beobachtet werden (28 kg N/ha) (**Abbildung 42**).

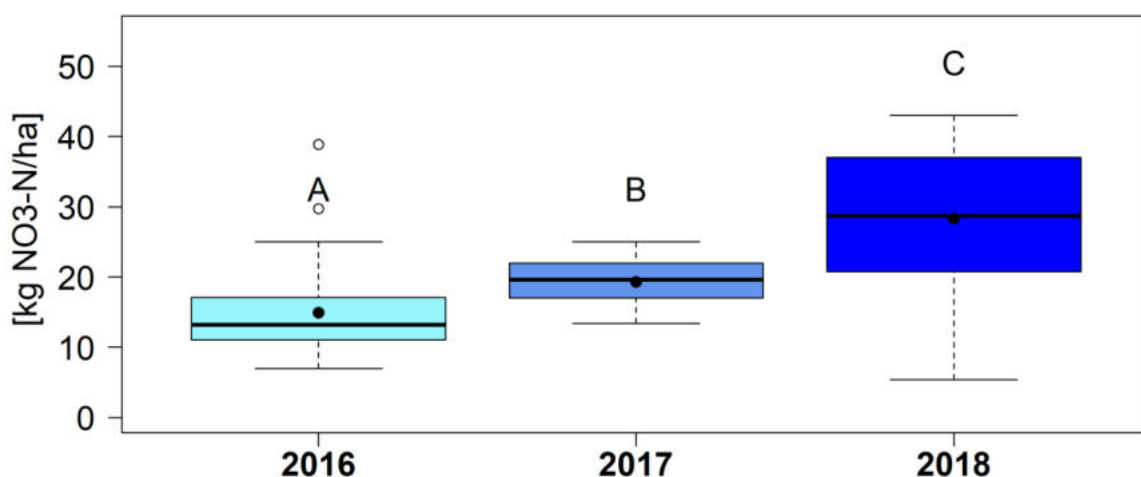


Abbildung 42: Einfluss des Versuchsjahres für den Parameter Rest-N nach der Ernte im Boden (0-60 cm), Parzellenversuche Rauischholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Hauptwirkung Versuchsjahr war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.1.7 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Vegetationsindex NDVI

Gießen

Mithilfe der statistischen Auswertung durch R Studio konnte errechnet werden, dass alle Haupteffekte einen signifikanten Ergebnisse aufwiesen. Allerdings zeigten die Wechselwirkungen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung zu allen drei Messterminen ein statistisch abgesichertes Ergebnis auf (**Tabelle 27**). Durch die Interaktionen wurden die Haupteffekte überdeckt. Zusätzlich wies der 2. Messtermin (ES 37-39) eine Wechselwirkung zwischen der Weizensorte und der N-Düngung auf.

Tabelle 27: Ergebnisse der Varianzanalyse für die NDVI-Werte des Weizens zu den unterschiedlichen Entwicklungsstadien, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz	p-Wert	Signifikanz	p-Wert	Signifikanz
	ES 32		ES 37-39		ES 65-69	
<i>Jahr</i>	< 0,001	***	< 0,001	***	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***	< 0,001	***	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***	< 0,001	***	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***	< 0,001	***	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***	< 0,001	***	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,2163	n.s.	0,0412	*	0,2753	n.s.

Jahr x Sorte

Anhand der **Abbildung 43** war es möglich den Verlauf des Vegetationsindex über alle Sorten innerhalb und zwischen den Jahren, zu den unterschiedlichen Entwicklungsterminen, zu verfolgen. Deutlich stach hervor, dass im Laufe der Schossphase die NDVI-Werte stark anstiegen und im Stadium der Blüte wieder abnahmen. Über alle Messtermine wurden in 2017 die höchsten NDVI-Werte erreicht.

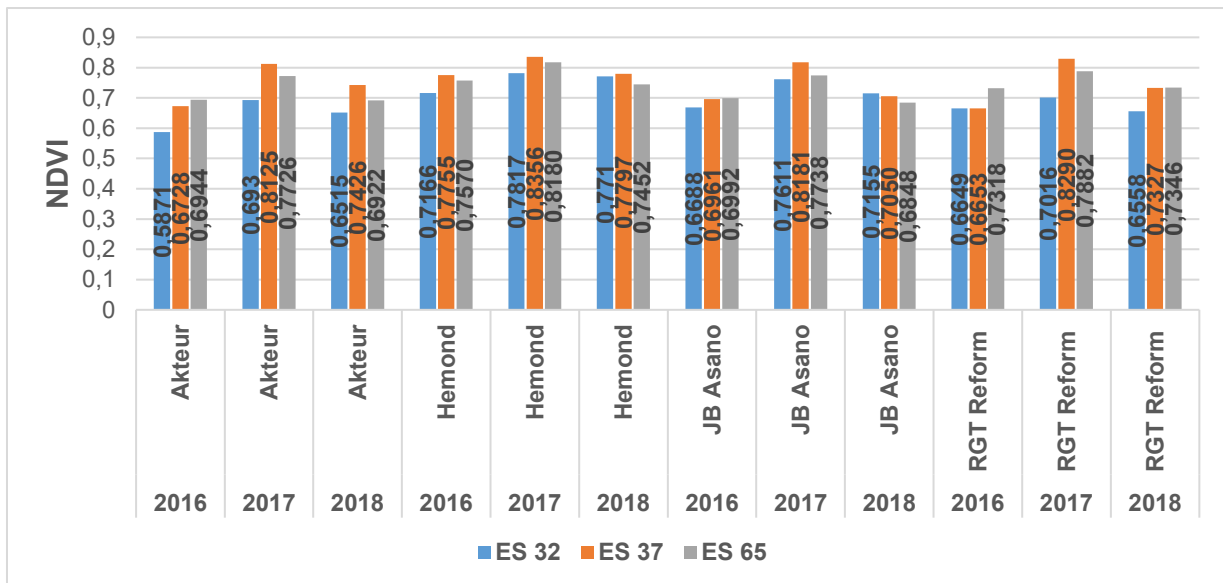


Abbildung 43: NDVI-Mittelwerte der geprüften Weizensorten zu den Messterminen ES 32, ES 37-39 und ES 65-69 im Versuchszeitraum 2016 bis 2018 am Standort Gießen, Parzellenversuch Backweizen N-Düngungsversuch.

In **Abbildung 44 a** wurden die NDVI-Werte zu Schossbeginn (ES 32) dargestellt. Die Werte lagen zwischen 0,5871 (Akteur, 2016) und 0,7817 (Helmond, 2017). Auffällig war, dass die Sorte Helmond zum Schossbeginn in den drei Jahren signifikant höhere Werte lieferte, als die anderen untersuchten Sorten. In 2017 unterschieden sich die Sorten Helmond und JB Asano jedoch nicht signifikant voneinander. Tendenziell wiesen Akteur und RGT Reform die niedrigsten NDVI-Werte auf. Im Jahr 2017 wurden insgesamt die höchsten Werte erzielt. Im Vergleich zu den späteren Aufnahmestadien fiel eine deutlich größere Schwankung innerhalb der Sorten in den Einzeljahren auf.

Zum zweiten Messtermin (ES 37-39) (**Abbildung 44 b**) wurde ersichtlich, dass die Schwankungen innerhalb der Sorten in den Einzeljahren deutlich abgenommen hatten. Weiterhin war festzustellen, dass die Werte insgesamt gestiegen sind, sodass die NDVI-Werte in einem Bereich von 0,6728 (Akteur, 2016) bis 0,8356 (Helmond, 2017) lagen. Wiederholt erzielte Helmond die höchsten NDVI-Werte, unterschied sich in 2017 nicht signifikant von JB Asano und RGT Reform. Die schwarzumrandeten Einzelpunkte unterhalb der Boxplots repräsentierten die Werte der Kontrollparzellen und wurden als Außreißer erkannt.

Für den dritten Messtermin zur Blüte (**Abbildung 44 c**), ließ sich ein Rückgang der NDVI-Werte, für den Großteil der betrachteten Sorten feststellen. Die Werte lagen nun zwischen 0,6848 (JB Asano, 2018) und 0,8180 (Helmond, 2017). Trotzdem erzielte Helmond auch zum dritten Messtermin die höchsten Werte und hob sich signifikant von den anderen Sorten ab. Mit der Ausnahme, dass im Jahr 2018 RGT Reform ein vergleichbares Niveau zu Helmond auswies. Über den gesamten Versuchszeitraum zeigten Akteur und JB Asano, die vergleichbare Indices erzielten, die niedrigsten Werte.

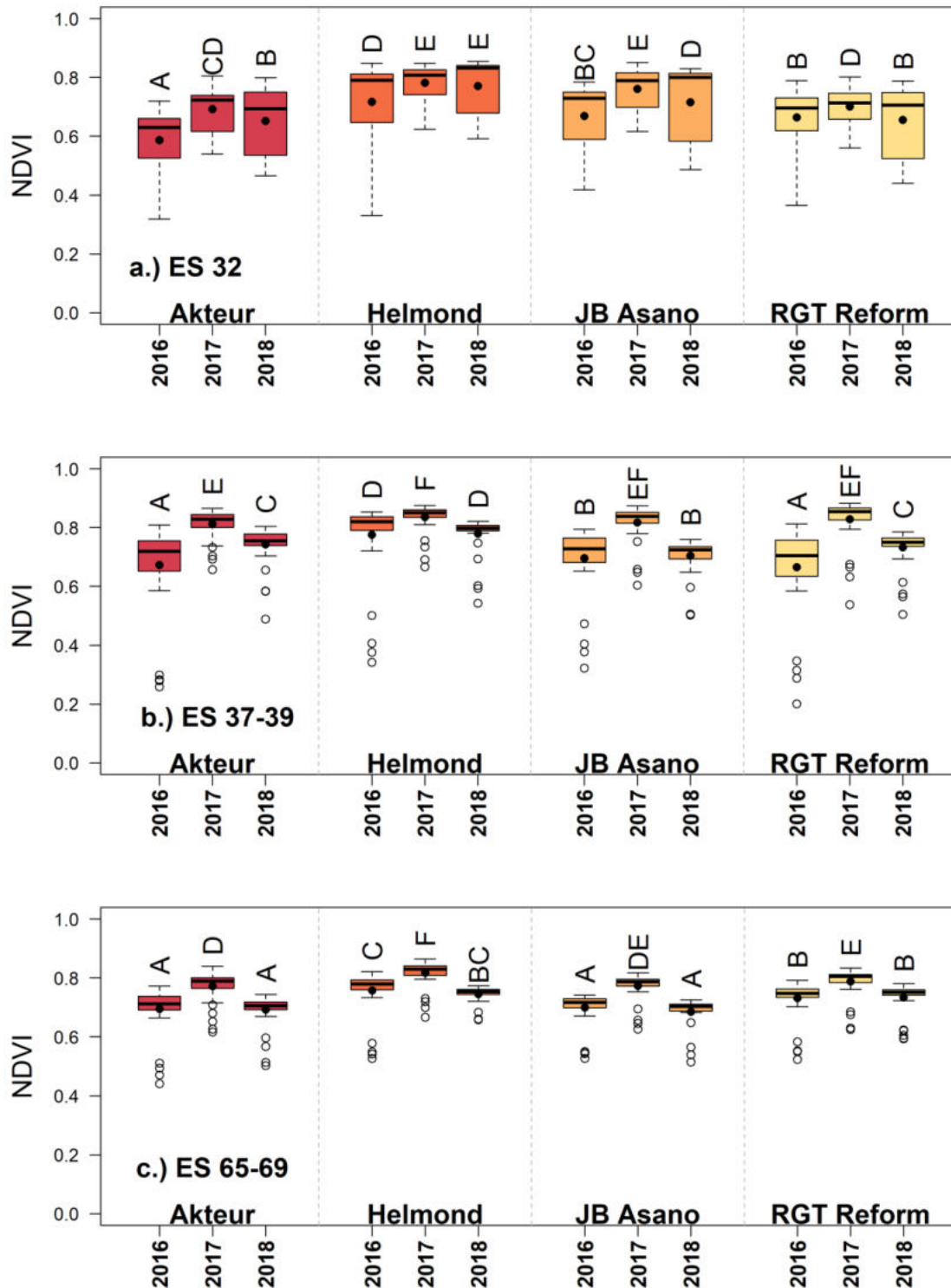


Abbildung 44 a-c: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte auf den Vegetationsindex NDVI des Weizens, Parzellenversuch Gießen 2016 bis 2018 für die drei untersuchten Messtermine a.) ES 32 (Schossbeginn), b.) ES 37-39 (Fahnenblatt sichtbar) und c.) ES 65-69 (Vollblüte bis Blühende). Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Versuchsjahr und Sorte war für alle drei Messtermine hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test) innerhalb eines Messtermins, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin. Die Punkte unterhalb der Boxplots (ungedüngte Kontrolle) stellen Ausreißer dar.

Jahr x N-Düngung

Zum ersten Messtermin (**Abbildung 45 a, ES 32**) war zu erkennen, dass jährlich die Kontrolle deutlich niedrigere Werte aufwies. Die Varianten, die mit KAS gedüngt wurden, zeigten in den Jahre 2017 und 2018 ein vergleichbares Niveau auf. Wohingegen das Jahr 2016 etwas niedrigere Werte erbrachte. Für die drei Varianten die mit dem CULTAN-Verfahren gedüngt wurden, war zu erkennen, dass im Jahr 2017 signifikant höhere Indices, verglichen mit 2016 und 2018, erreicht wurden. Weiterhin war festzustellen, dass zum Zwei-Knoten-Stadium die CULTAN-Varianten im Mittel signifikant niedrigere Werte aufwiesen (0,62) als die KAS-Varianten (0,76). Darüber hinaus konnte innerhalb der drei Einzeljahre kein statistisch abgesicherter Unterschied zwischen den KAS-Varianten (2 bis 7) festgestellt werden. Das gleiche trifft für die CULTAN-Varianten zu.

In der **Abbildung 45 b** wurden die NDVI-Werte für den zweiten Messtermin zu Schossende (ES 37- 39) dargestellt. Es war zu beobachten, dass die Werte für die KAS-Varianten im Jahr 2016, im Vergleich zu Schossbeginn, nur gering gestiegen waren. Für die genannten Varianten war in 2018 sogar eine minimale Abnahme zu beobachten. Für das Jahr 2017 war eine deutliche Zunahme der NDVI-Werte zum vorherigen Messtermin zu erkennen. Des Weiteren lagen die CULTAN-Varianten nun auf einem annähernd hohen Niveau wie die KAS-Varianten. Insgesamt wiesen die einzelnen Prüfglieder zum zweiten Messtermin eine geringere Schwankung auf.

Zum Messtermin der Vollblüte (ES 65-69) konnte für alle beobachteten Prüfglieder ein leichter Rückgang der NDVI-Werte beobachtet werden (**Abbildung 45 c**). Nochmals zeigte sich, dass das Niveau in 2017 deutlich höher war als in 2016 und 2018.

In **Tabelle 28** wurde das Bestimmtheitsmaß (R^2) zwischen den Vegetationsindices und dem Kornertrag dargestellt. Unabhängig von den Messterminen war zu erkennen, dass der NDRE eine engere Beziehung zum Kornertrag aufwies, obwohl die Korrelationen zwischen den Jahren mehr oder weniger große Schwankungen zeigten. Des Weiteren war festzustellen, dass beide VI zum ersten Messtermin (ES 32) in allen drei Jahren die schwächsten Korrelationen boten. Für beide VI erbrachte der zweite Messtermin (ES 37-39) die engsten Korrelationen zum Kornertrag.

Tabelle 28: Bestimmtheitsmaß (R^2) zwischen dem Kornertrag und den jeweiligen Vegetationsindices NDVI und NDRE zu verschiedenen Messterminen während der Vegetation am Standort Gießen (2016 bis 2018)

Indices	Jahre			
	ES	2016	2017	2018
NDVI	32	0,42	0,11	0,09-
	37-39, (2018 ES 55)	0,53	0,52	0,40
	65-69	0,53	0,38	0,44
NDRE	32	0,54	0,23	0,21
	37-39, (2018 ES 55)	0,69	0,43	0,72
	65-69	0,62	0,39	0,72

Rauischholzhausen

Mithilfe der statistischen Auswertung wurde festgestellt, dass die Haupteffekte, Versuchsjahr, Sorte und N-Düngung einen signifikanten Effekt aufwiesen. Allerdings zeigten die Wechselwirkungen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung ebenfalls signifikante Ergebnisse und überdeckten somit die Wirkungen der Haupteffekte. Eine Interaktion zwischen Sorte und N-Düngung konnte in keinem Jahr beobachtet werden (**Tabelle 29**).

Tabelle 29: Ergebnisse der Varianzanalyse für die NDVI-Werte des Weizens zu den unterschiedlichen Entwicklungsstadien, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	ES 31		ES 37-39		ES 71	
	p-Wert	Signifikanz	p-Wert	Signifikanz	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***	< 0,001	***	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***	< 0,001	***	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***	< 0,001	***	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***	< 0,001	***	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***	< 0,001	***	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,3075	n.s.	0,4592	*	0,8189	n.s.

Jahr x Sorte

Auf den ersten Blick war zu erkennen, dass die NDVI-Werte zu ES 31 zwischen den Jahren in Rauschholzhausen deutlich stärker schwankten, als am Standort Gießen (**Abbildung 46 a**). Des Weiteren wiesen die Sorten in 2016 zu ES 31 deutlich höhere Indices, im Vergleich zu Gießen (ES 32), auf. Im Unterschied dazu erreichte Gießen in 2017 wesentlich höhere NDVI-Werte im Vergleich zu Rauschholzhausen. Im dritten Versuchsjahr waren sich die NDVI-Werte der beiden Standorte recht ähnlich. In allen drei Versuchsjahren erzielten Helmond und JB Asano, zu ES 31, die höchsten NDVI-Werte und wiesen signifikante Unterschiede zu den Sorten Akteur und RGT Reform auf. Eine ähnliche Rangfolge war auch in Gießen feststellbar. Die Sorten lagen im Bereich von 0,4595 (RGT Reform, 2017) und 0,8069 (Helmond, 2016).

Zum zweiten Messtermin (ES 37-39) konnte, wie auch in Gießen, eine deutliche Verminderung der Streuung innerhalb der Sorten in allen Jahren festgestellt werden (**Abbildung 46 b**). Die besonders niedrigen NDVI-Werte in 2017 zu ES 31 konnten die Pflanzen ausgleichen und lagen größtenteils auf einem vergleichbaren Niveau zum Vorjahr. Im gesamten Versuchszeitraum erzielte die Sorte Helmond die höchsten NDVI-Gehalte und unterschied sich signifikant zu den übrigen Sorten. Zudem war festzuhalten, dass in 2018, auch zum zweiten Messtermin, der Vegetationsindex NDVI auf einem niedrigeren Niveau lag. Hier erreichten die Sorten Werte zwischen 0,6855 (RGT Reform, 2018) und 0,8572 (Helmond, 2016).

In **Abbildung 46 c** wurden die NDVI-Werte zu Beginn der Kornbildung (ES 71) am Standort Rauschholzhausen dargestellt. Wie auch in Gießen zeigte sich für den überwiegenden Anteil der Sorten eine leicht rückläufige Tendenz, im Vergleich zum zweiten Messtermin (ES 37-39). Ausschließlich die Sorten Helmond und RGT Reform erzielten im Jahr 2016 eine leichte Zunahme des Vegetationsindexes.

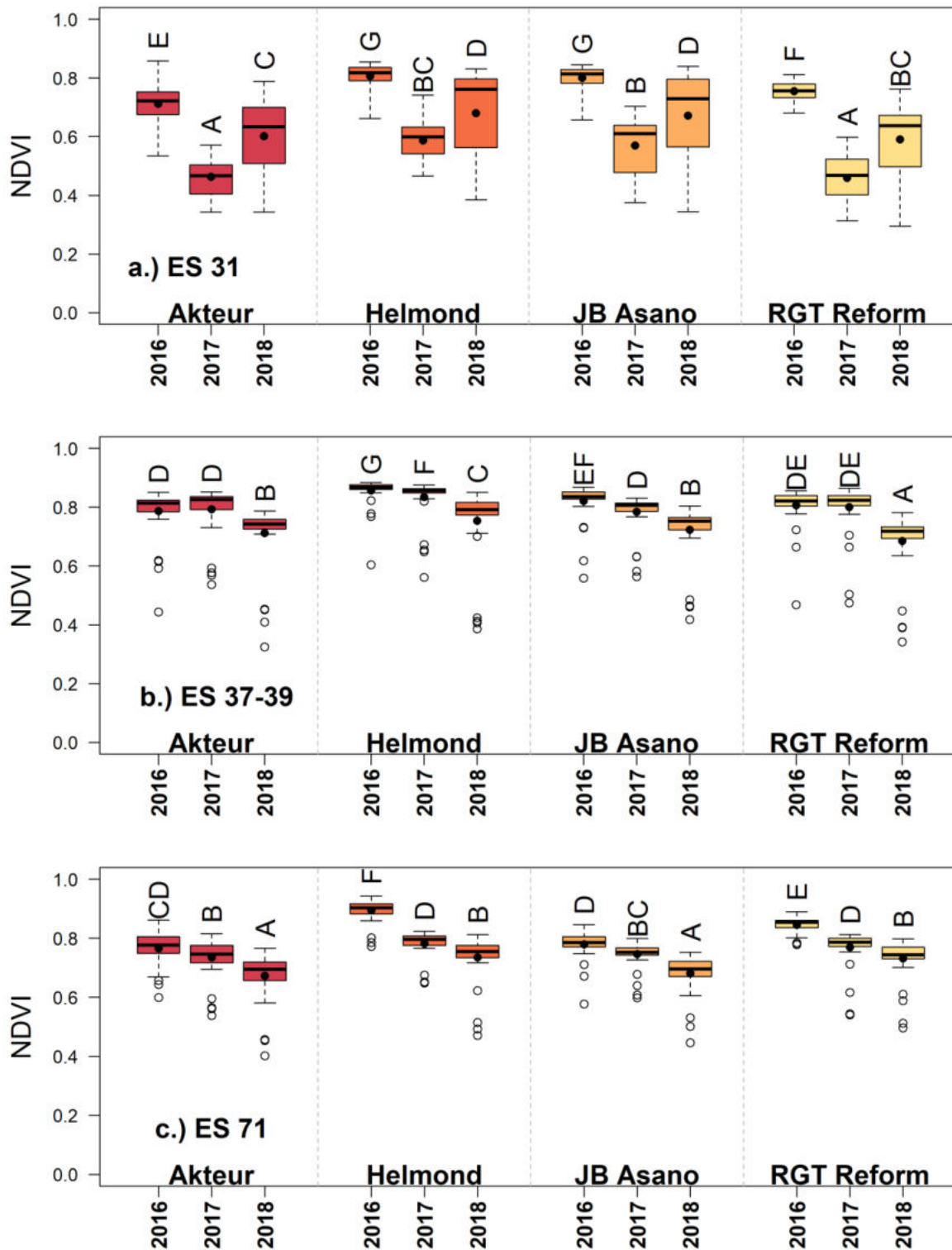


Abbildung 46 a-c: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte auf den Vegetationsindex NDVI des Weizens, Parzellenversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018 für die drei untersuchten Messtermine a.) ES 31 (Schossbeginn), b.) ES 37-39 (Fahnenblatt sichtbar) und c.) ES 71 (Beginn Kornbildung). Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Versuchsjahr und Sorte war für alle drei Messtermine hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test) innerhalb eines Messtermins, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin. Die Punkte unterhalb der Boxplots (ungedüngte Kontrolle) stellen Ausreißer dar.

Jahr x N-Düngung

In **Abbildung 47 a-c** wurden die Interaktion zwischen dem Jahr und der N-Düngung für den Vegetationsindex NDVI am Standort Rauschholzhausen der drei untersuchten Entwicklungsstadien abgebildet. Zum Entwicklungsstadium ES 31 konnten große Unterschiede zwischen den Jahren beobachtet werden. Die höchsten Werte wurden in 2016 und die niedrigsten in 2017 erzielt. Zum ersten Messtermin konnte in 2016 kein signifikanter Unterschied zwischen den gedüngten Varianten festgestellt werden. Im Jahr 2017 und 2018 wurden signifikanter höhere Werte für die KAS-Varianten (2 bis 7) im Vergleich zu den CULTAN-Varianten (8 bis 10) sichtbar. Die Mittelwerte der Varianten lagen bei 0,77 (2016), 0,52 (2017) und 0,64 (2018). Die Kontrollvariante lag in allen drei Jahren auf einem erheblich niedrigeren Niveau (**Abbildung 47 a**).

Für den zweiten Messtermin, zu ES 37-39, konnten eine deutlich geringere Schwankung zwischen den Jahren festgestellt werden. Innerhalb und zwischen den Jahren 2016 und 2017 gab es kaum Unterschiede zwischen den Varianten. Nur Variante 9 (Σ 180 kg N/ha) schnitt in 2017 signifikant schlechter ab als die Varianten Nr. 2, 3 und 6. Im Jahr 2018 wurden signifikant niedrigere Indices erreicht, als in den anderen Versuchsjahren. Im Vergleich zum ersten Termin gab es eine Zunahme der Werte in allen drei Jahren auf 0,82 (2016), 0,80 (2017) und 0,72 (2018) (**Abbildung 47 b**).

Zum dritten Messtermin (ES 71) gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb der Jahre 2016 und 2017. Das Niveau in 2018 lag deutlich unter dem der beiden anderen Jahre. Darüber hinaus wies die Variante 9 einen signifikant niedrigeren Index, als Variante 3 (Σ 200 kg N/ha) und 10 (Σ 240 kg N/ha), auf. Die Variante Nr. 4 (Σ 200 kg N/ha) unterschied sich nicht signifikant zur Variante 9, allerdings zur Variante 3. Vergleich man den zweiten mit dem dritten Messtermin, ließ sich festhalten, dass im Jahr 2017 (0,76) und 2018 (0,71) die Index-Werte leicht abnahmen. Für das erste Versuchsjahr blieb der Wert stabil bei 0,82 (**Abbildung 47 c**).

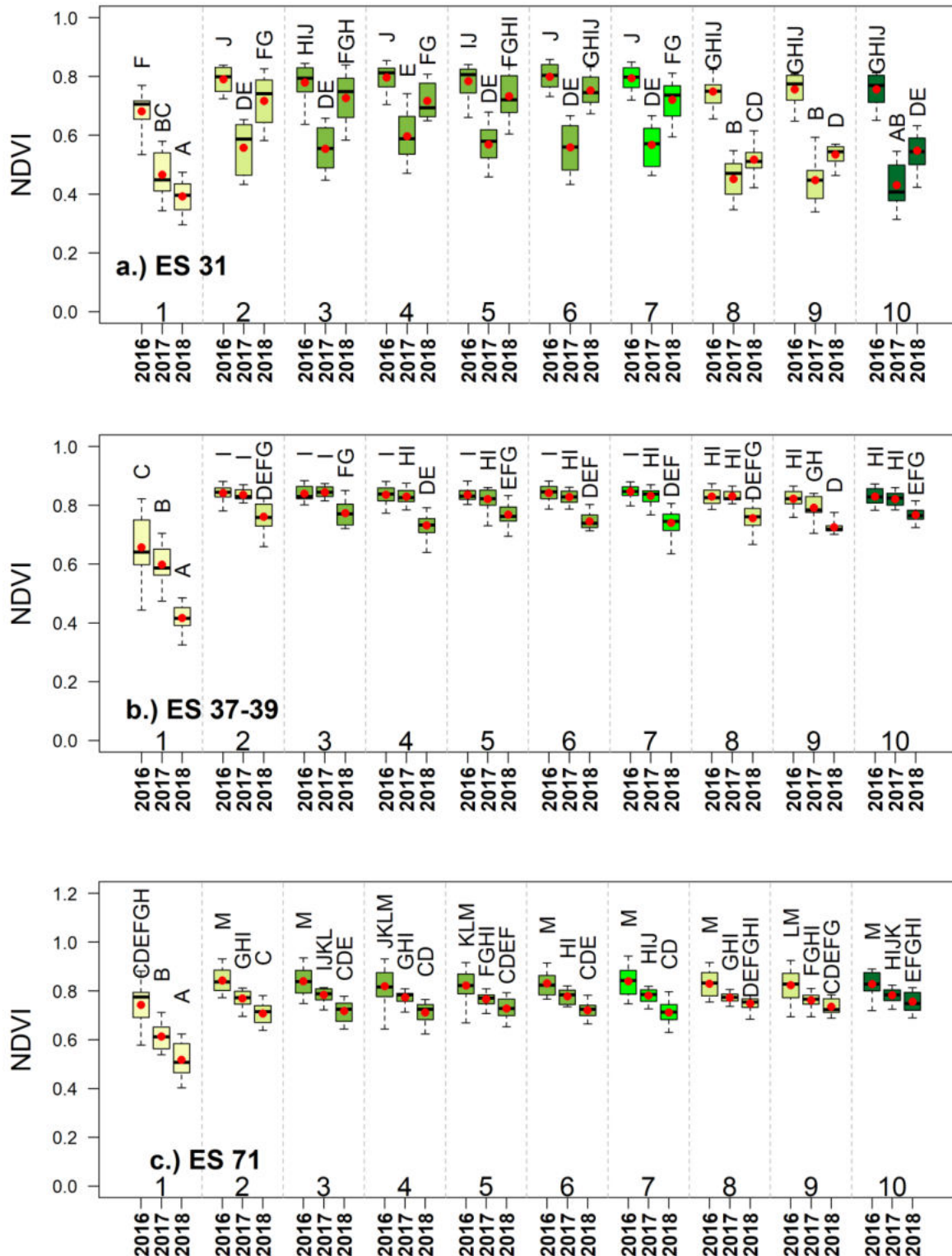


Abbildung 47 a-c: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung auf den Vegetationsindex NDVI des Weizens, Parzellenversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018 für die drei untersuchten Messtermine a.) ES 31 (Schossbeginn), b.) ES 37-39 (Fahnenblatt sichtbar) und c.) ES 71 (Beginn Kornbildung). Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Versuchsjahr und N-Düngung war für alle drei Messtermine hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test) innerhalb eines Messtermins, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Anhand der Korrelationen in **Tabelle 30** wurde ersichtlich, dass beide Vegetationsindices sich während der Wachstumsphase vergleichbar verhielten. Zum ersten Messtermin wiesen sie die geringsten Beziehungen zum Ertrag auf. Zum zweiten Termin ES 37-39 konnten engste Korrelationen festgestellt werden. Wohingegen zum letzten Messtermin der Zusammenhang mit dem Kornertrag wieder leicht abnahm. Weiterführend konnte wie auch am Standort Gießen gezeigt werden, dass der NDRE eine prinzipiell engere Korrelation zum Kornertrag aufwies. Des Weiteren konnte dargelegt werden, dass die Korrelationsbeziehungen am Standort Gießen insgesamt enger waren, als in Rauschholzhausen.

Tabelle 30: Korrelationsbeziehungen (R^2) zwischen den Kornertrag und den jeweiligen Vegetationsindices NDVI und NDRE zu verschiedenen Messterminen während der Vegetation am Standort Rauschholzhausen (2016 bis 2018)

Indices	Jahre			
	ES	2016	2017	2018
NDVI	31	0,05	0,02	0,16
	37-39	0,18	0,38	0,63
	71	0,06	0,39	0,59
NDRE	31	0,17	0,04	0,12
	37-39	0,57	0,65	0,68
	71	0,09	0,57	0,64

4.2 Laboranalysen

4.2.1 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Proteingehalt (NIRS)

Gießen

Anhand der durchgeführten statistischen Auswertung konnten für den Parameter Proteingehalt in Gießen signifikante Effekte für die einzelnen Hauptwirkungen ($p < 0,001$) festgestellt werden (**Tabelle 31**). Jedoch wurden die Hauptwirkungen von den Wechselwirkungen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung (jeweils $p < 0,001$) überdeckt. Daran ist zu erkennen, dass das Versuchsjahr einen bedeutsamen Einfluss auf die Reaktion der Sorten und N-Düngung aufwies. Zwischen den Prüffaktoren Sorte und N-Düngung konnten keine Interaktion festgestellt werden.

Tabelle 31: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Proteingehalt von Weizen, Backweizen
N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,9966	n.s.

Jahr x Sorte

Verglichen mit den Kornerträgen der Sorten (**Abbildung 22**) ließ sich eine meist gegenläufige Reaktion der Proteingehalte durch Verdünnungs- bzw. Konzentrations-effekte feststellen (**Abbildung 48**). Das Niveau der Proteingehalte aller Sorten stieg von 2016 bis 2018, aufgrund von vielschichtigen Einflüssen, an. Durch den höheren genetisch determinierten Proteingehalt erzielten die E-Sorten, in 2016 und 2017, signifikant höhere Proteingehalte im Vergleich zu den A-Sorten. Im Jahr 2018 fielen die Unterschiede zwischen den Qualitätsklassen deutlich geringer aus. Sodass sich die Sorten Akteur und JB Asano nicht signifikant voneinander unterschieden. Außerdem wies die A-Sorte RGT Reform keinen statistisch abgesicherten Unterschied zu Akteur, aber zu JB Asano auf. In allen drei Versuchsjahren erzielte die Sorte Helmond den höchsten und RGT Reform den niedrigsten Proteingehalt. Das Niveau von 12,5 % Protein in der Trockenmasse, wurde ausschließlich von Helmond im Jahr 2018 erreicht bzw. übertroffen (13,0 %). Alle anderen Sorten konnte diese Anforderungen im Mittel über alle Düngevarianten nicht erzielen (**Tabelle 32**).

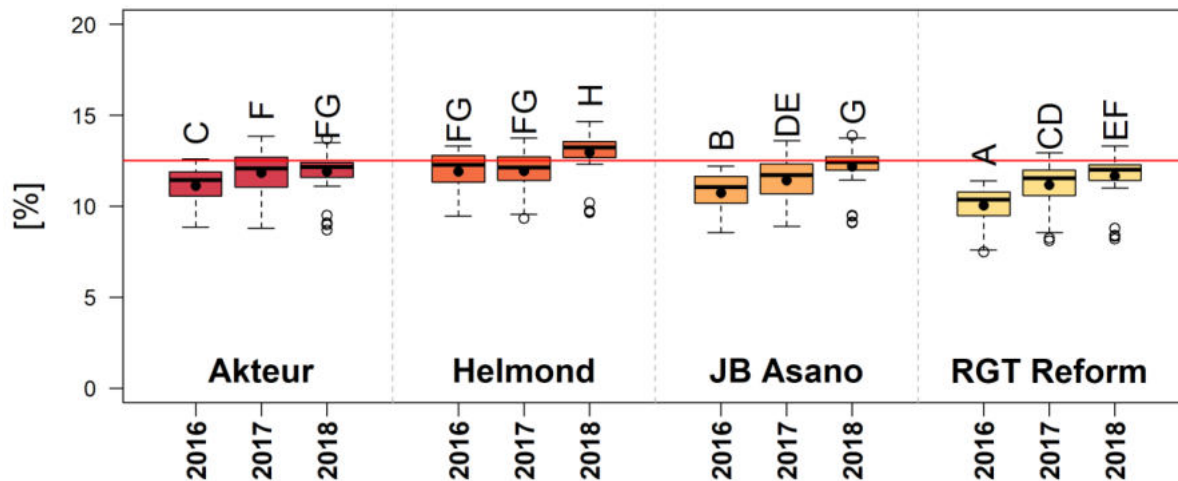


Abbildung 48: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für den Proteingehalt (NIRS) des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einer Höhe von 12,5 % und gibt die geforderte Proteinmenge für Aufmischweizen an. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Tabelle 32: Mittlere Proteingehalte der Sorten der einzelnen Versuchsjahre, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen und Rauschholzhausen (2016 bis 2018)

Sorte	2016		2017		2018	
	GI	RH	GI	RH	GI	RH
Akteur	11,1 C	13,3 H	11,9 F	11,4 CD	11,9 FG	11,7 DE
Helmond	11,9 FG	14,1 I	11,9 FG	12,1 F	13,0 H	12,4 FG
JB Asano	10,7 B	12,5 G	11,4 DE	10,8 B	12,2 G	11,1 BC
RGT Reform	10,1 A	11,7 E	11,2 CD	10,4 A	11,7 EF	11,1 BC

Jahr x N-Düngung

In **Abbildung 49** sind die Proteingehalte der einzelnen Düngungsvarianten, über die drei Versuchsjahre, am Standort Gießen dargestellt. Die Nullvariante lag in allen drei Jahren auf einem ähnlichen Niveau von ca. 9 % und befand sich damit deutlich unter den Proteingehalten der gedüngten Varianten. Zwischen den Varianten Nr. 2 ($\Sigma 180$ kg N/ha) und 9 ($\Sigma 180$ kg N/ha) ergaben sich in 2016 und 2017 keine signifikanten Unterschiede. Im dritten Versuchsjahr erzielte Variante 9 signifikant höhere Proteingehalte als Variante 2. Die Variante 8 ($\Sigma 180$ kg N/ha) unterlag den beiden bereits genannten Varianten in den ersten beiden Jahren. In 2018 konnte sie mit Variante Nr. 2 gleichziehen, unterlag allerdings Nr. 9.

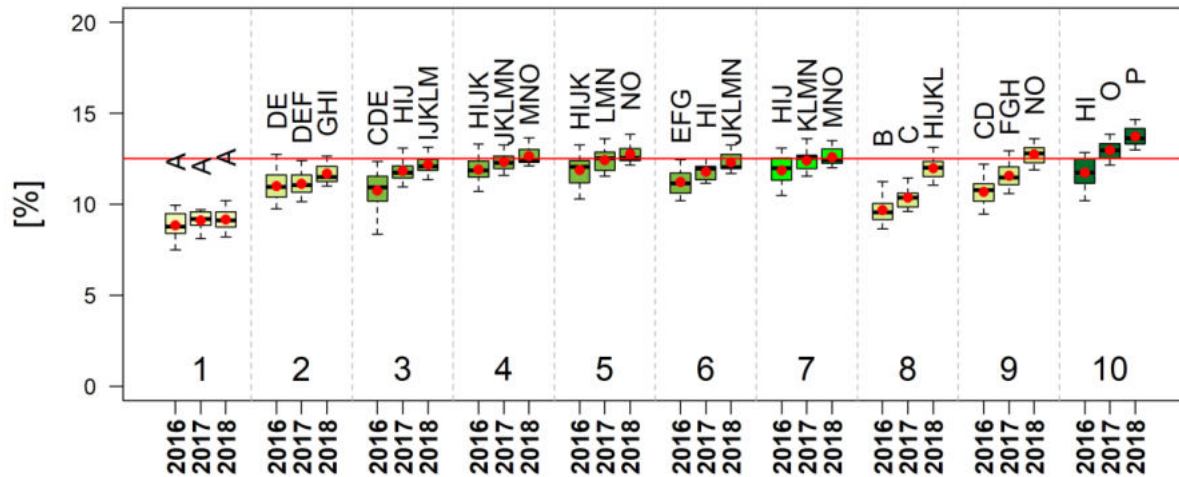


Abbildung 49: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Proteingehalt (NIRS) des Weizens, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamt-Düngemenge. Die rote Linie liegt auf einer Höhe von 12,5 % und gibt die geforderte Proteinmenge für Aufmischweizen an. Die Wechselwirkung N-Düngung x Jahr war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Zwischen den Varianten 3 und 6, die insgesamt 200 kg N/ha erhielten, ergaben sich signifikante Unterschiede. In den drei Versuchsjahren erzielte die Variante 3 ein vergleichbares Ergebnis wie Variante 6. Beide Varianten erbrachten niedrigere Proteingehalt im Vergleich zu den Varianten 4 und 5. Die Nr. 3 erzielte in 2016 signifikant niedrigere Proteingehalte als 4 und 5. Im zweiten und dritten Jahr lagen die Varianten Nr. 3 und 4 auf dem gleichen Niveau, wiesen allerdings einen signifikant niedrigeren Gehalt, als Nr. 5, auf. Im Vergleich dazu erbrachte Variante 6 in den Jahren 2016 und 2017 signifikant niedrigere Proteingehalte, als die Varianten 4 und 5, wohingegen sie in 2018 vergleichbare Werte zu den beiden spätbetonten Varianten erreichte. In dem dreijährigen Versuchsanbau erreichten die Varianten 4 und 5 einen vergleichbaren Proteingehalt wie Nr. 7 ($\Sigma 220$ kg N/ha). Im letzten Versuchsjahr konnten zusätzlich die Düngevarianten 3, 6 und 9 dieses Niveau erreichen. Im ersten Jahr befanden sich die Varianten 4, 5 und 7 auf demselben Niveau wie die höchstgedüngte Variante ($\Sigma 240$ kg N/ha). In den zwei darauffolgenden Jahren konnte sich die Variante 10 von den anderen getesteten Stufen signifikant abheben (2017: 13,0 %; 2018: 13,7 %).

Rauischholzhausen

Es ergaben sich in Rauischholzhausen dieselben Effekte wie in Gießen. Bis auf die Wechselwirkungen, zwischen Sorte und N-Düngung, erzielten alle Prüffaktoren signifikante Ergebnisse ($p < 0,001$). Die Wechselwirkungen überdeckten die Wirkung der Haupteffekte.

Tabelle 33: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Proteingehalt von Weizen, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,2877	n.s.

Jahr x Sorte

Anhand von **Tabelle 32** wurde ersichtlich, dass der Weizen in Gießen in den Jahren 2017 und 2018 ein signifikant höheres Niveau bezüglich des Proteingehaltes erreichen konnte. Demgegenüber erzielte der getestete Weizen in Rauischholzhausen im Jahr 2016 signifikant höhere Proteingehalte. Das geht ebenfalls aus der nachfolgenden **Abbildung 50** hervor. Daran war zu erkennen, dass in den Jahren 2017 und 2018 die Proteingehalte am Standort Rauischholzhausen auf einem vergleichbaren Niveau lagen. Mit Ausnahme von RGT Reform, der in 2018 ein signifikant höheren Eiweißgehalt (11,1 %), verglichen mit dem Vorjahr (10,4 %), erzielte. Nichtsdestotrotz konnten die vier Sorten die signifikant höchsten Werte in 2016 realisieren. Auch in Rauischholzhausen erzielten die E-Sorten, verglichen mit den A-Sorten, signifikant höhere Proteingehalte im dreijährigen Testanbau. Ebenso gab es signifikante Unterschiede innerhalb der Qualitätsklassen. Helmond wies signifikant höhere Gehalte im Vergleich zu Akteur auf. Gleichwohl waren die Proteingehalte für JB Asano in 2016 und 2017 signifikant höher im Vergleich zu RGT Reform. Im letzten Versuchsjahr lagen die beide A-Sorten gleich auf. Den Grenzwert von 12,5 % erreichten ausschließlich die Sorten Akteur und Helmond im ersten Versuchsjahr. Die Punkte unterhalb der Boxplots stellten die Ergebnisse der Kontrolle dar. Diese lagen 1,5 Boxplotlängen entfernt und wurden daher als separate Punkte angegeben.

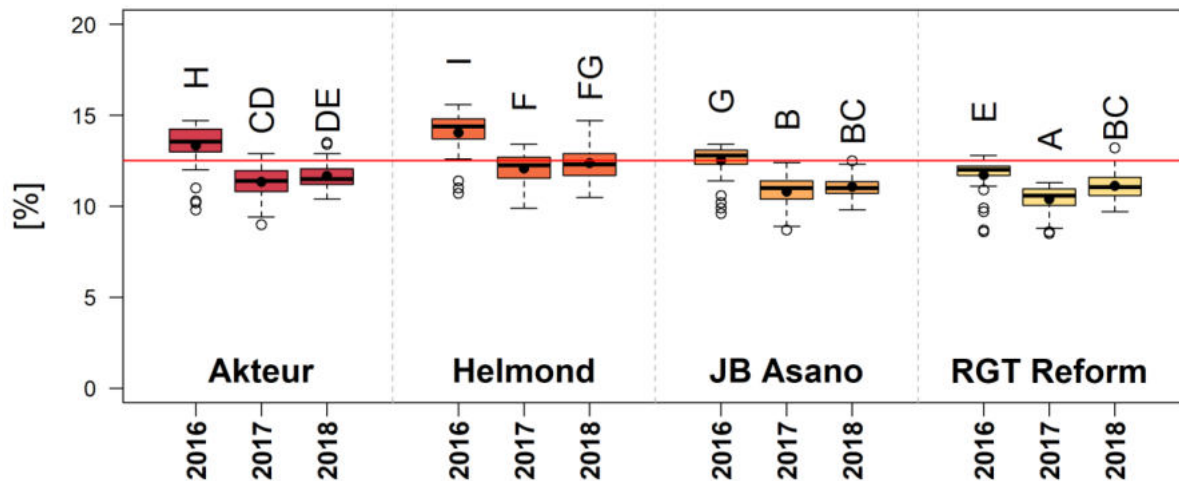


Abbildung 50: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für den Proteingehalt (NIRS) des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einer Höhe von 12,5 % und gibt die geforderte Proteinmenge für Aufmischweizen an. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Jahr x N-Düngung

In **Abbildung 51** wurde die Interaktion zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Standort Rauschholzhausen dargestellt. Wie zu erwarten erreichte die Kontrolle in allen Jahren den absolut niedrigsten Proteingehalt (2016: 10,2; 2017: 9,3; 2018: 11,0 %). In den Jahren 2016 und 2018 unterschieden sich die Varianten Nr. 2 und 9 ($\sum 180$ kg N/ha) nicht voneinander. Allerdings erzielte die Variante 8 ($\sum 180$ kg N/ha) in 2016 einen signifikant niedrigeren Eiweißgehalt wie Variante 2 und ein vergleichbares Ergebnis wie Variante 9. Im Jahr 2017 schnitt Variante 9 signifikant besser ab, als die Varianten 2 und 8. Im letzten Versuchsjahr befanden sich die Varianten 2, 8 und 9 auf einem vergleichbaren Level. Zwischen den Varianten 3 bis 6 ($\sum 200$ kg N/ha) und Variante 7 ($\sum 220$ kg N/ha) gab es im Zeitraum 2016 bis 2018 keinen statistisch abgesicherten Unterschied. Die Variante 10 ($\sum 240$ kg N/ha) wies 2016 keinen signifikanten Unterschied zu den Varianten 2 bis 7 auf. Im Jahr 2017 zeigten ausschließlich die Varianten 4, 6 und 7 ein gleichwertiges Ergebnis wie die höchstgedüngten Variante. In 2018 erzielte Variante 10 den höchsten Proteingehalt (12,9 %) und unterschied sich signifikant von den anderen Varianten. Den Grenzwert von 12,5 % übertrafen die Varianten 2 bis 7 und 9 im Jahr 2016 und die Variante 10 in 2016 und 2018.

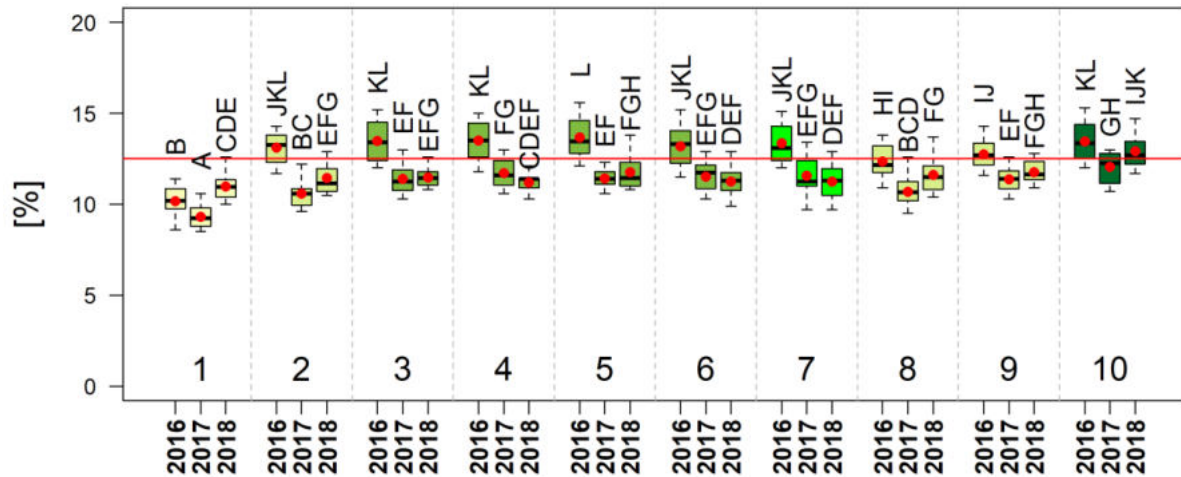


Abbildung 51: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Proteingehalt (NIRS) des Weizens, Parzellenversuche Rauischholzhausen 2016 - 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamt-Düngemenge. Die rote Linie liegt auf einer Höhe von 12,5 % und gibt die geforderte Proteinmenge für Aufmischweizen an. Die Wechselwirkung N-Düngung x Jahr war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.2.2 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Feuchtklebergehalt

Gießen

Bezüglich der statistischen Auswertung ist festzuhalten, dass die Hauptwirkungen einen signifikanten Effekt hatten, sowie die Wechselwirkungen zwischen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung (**Tabelle 34**). Daraus ließ sich ableiten, dass die Witterung der jeweiligen Versuchsjahre einen entscheidenden Einfluss hatte. Durch die vorhandenen Wechselwirkungen wurden die Hauptwirkungen überdeckt. Es ergaben sich keine Wechselwirkungen zwischen Sorte und N-Düngung.

Tabelle 34: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Feuchtklebergehalt des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,0589	n.s.

Jahr x Sorte

Anhand der **Abbildung 52** war zu erkennen, dass alle vier Sorten sehr ähnlich auf die jeweilige Jahreswitterung reagiert haben. Das höchste Niveau wurde in 2018 und das niedrigste in 2017 erzielt. Es wird davon ausgegangen, dass die E-Sorten im Vergleich zu den A-Sorten, aufgrund ihrer Genetik, ein höheres Gluten-Bildungsvermögen besitzen. In den vorangegangenen Versuchen konnte dies nicht in allen Jahren bestätigt werden. Die E-Sorten Akteur und Helmond unterscheiden sich für die Jahre 2016 und 2017 nicht signifikant. Im dritten Versuchsjahr erzielte Helmond im Mittel einen signifikant höheren Feuchtklebergehalt als Akteur. Weiterhin erreichte JB Asano in 2017 und 2018 einen vergleichbaren Gehalt zu Helmond und in 2016 zu Akteur. In allen drei Jahren erzielte RGT Reform mit Abstand die niedrigsten Feuchtklebergehalte. Zudem lag in 2016 im Mittel nur Helmond, in 2017 keine der Sorten und in 2018 die Sorten Akteur, Helmond und JB Asano in dem geforderten Bereich von 25-30 % Feuchtkleberanteil. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass die gewählten Düngemengen zwischen 180 und 240 kg N/ha lagen. Die Punkte unterhalb der Boxplots entsprachen den Null-Varianten. Da sie weiter als 1,5 Boxenlängen entfernt waren, wurden sie als Punkte angezeigt. Die Punkte oberhalb der Sorten Helmond und JB Asano in 2018 verdeutlichen das extrem hohe Niveau der Variante 10 ($180\text{-N}_{\min}/60 = \Sigma 240 \text{ kg N/ha}$) in Zusammenspiel mit der jahresspezifischen Witterung.

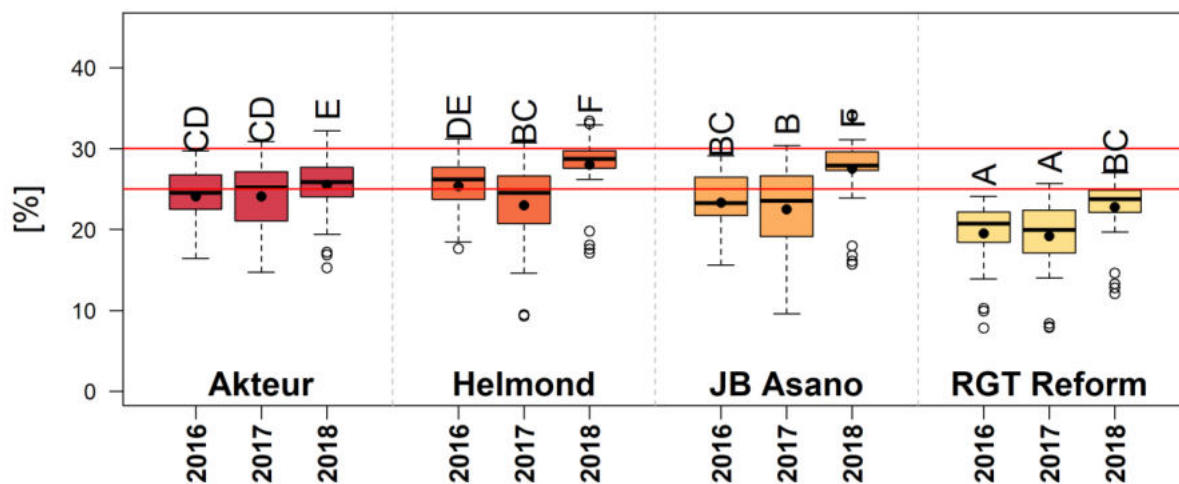


Abbildung 52: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für den Feuchtklebergehalt (Glutomatic) des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die roten Linien bilden den Wertebereich (25-30 %) für die gewünschte Qualität ab. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Jahr x N-Düngung

Die nachfolgende Darstellung (**Abbildung 53**) wird den Zusammenhang zwischen Versuchsjahr und N-Düngung für den indirekten Bewertungsindikator Feuchtklebergehalt abgebildet. Erwartungsgemäß erzielte die Null-Variante in allen drei Jahren den niedrigsten Glutengehalt. Auf sehr niedrigem Niveau bewegte sich die Variante 8 ($\Sigma 180$ kg N/ha) in den Versuchsjahren 2016 und 2017. In dem genannten Zeitraum erbrachten die Varianten 2 und 9 ($\Sigma 180$ kg N/ha) signifikant höhere Gehalte als Variante 8. Die Varianten 2 und 8 bewegten sich auf einem vergleichbaren Niveau. Im Ausnahmejahr 2018 erzielte die Variante 8 einen signifikant höheren Feuchtklebergehalt, als in den vorherigen Jahren und wies keinen signifikanten Unterschied zur Variante Nr. 2 auf. Die Variante 9 erreichte einen auffällig hohen Wert und wies einen statistisch abgesicherten Effekt zu den Varianten 2 und 8 auf. Zwischen den Varianten 3 bis 6 ($\Sigma 200$ kg N/ha) gab es keine signifikanten Unterschiede, mit Ausnahme von Variante 3 im Jahr 2016, mit einem signifikant niedrigerem Niveau. Allerdings erzielten die Varianten 4 und 5 tendenziell höhere Gehalte. In 2016 konnten die Varianten 4 und 5, in 2017 und 2018 die Varianten 3 bis 6 mit Variante Nr. 7 ($\Sigma 220$ kg N/ha) gleichziehen. Die Variante 7 unterlag nur in 2018 der Varianten 10 ($\Sigma 240$ kg N/ha). Den optimalen Bereich über 25 % erreichten die Varianten 4, 5, 7 und 10 in allen drei Versuchsjahren. Zusätzlich konnten in 2018 die Varianten 3, 6, 8 und 9 überzeugen.

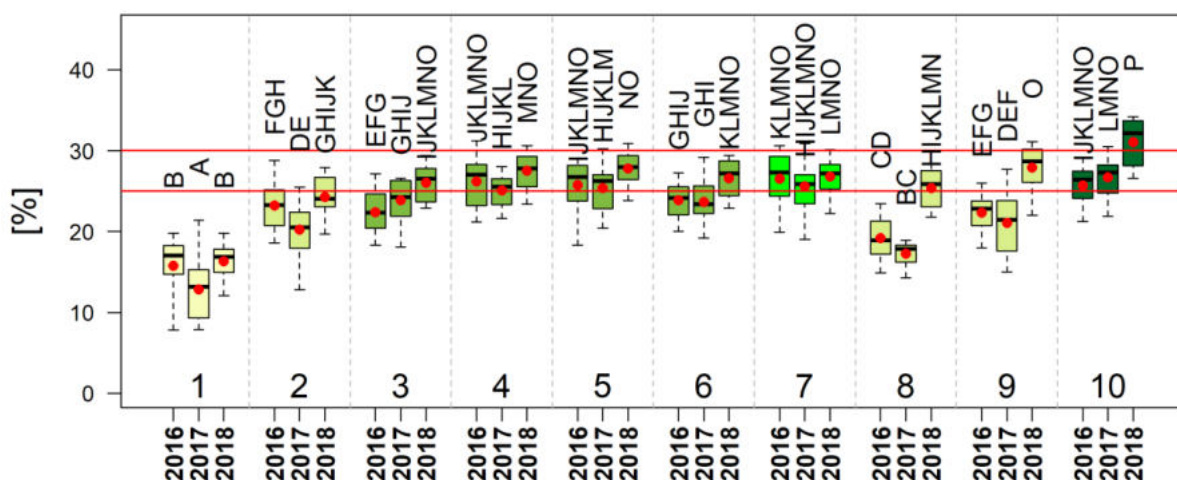


Abbildung 53: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Feuchtklebergehalt (Glutomatic) des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die roten Linien bilden den Wertebereich (25-30 %) für die gewünschte Qualität ab. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Rauischholzhausen

Auf der Grundlage der statistischen Auswertung, wiesen die Haupteffekte, wie auch für die Wechselwirkungen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung, signifikante Ergebnisse auf. Daran konnte abgeleitet werden, dass die Jahreswitterung die Ergebnisse stark beeinflusste (**Tabelle 35**). Es wurde keine Interaktion zwischen Sorten und N-Düngung festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass die Sorten gleichermaßen von N-Düngung und der Witterung beeinflusst wurden.

Tabelle 35: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Feuchtklebergehalt des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,678	n.s.

Jahr x Sorte

In der nachfolgenden **Abbildung 54** wurde die Wechselwirkung zwischen dem Faktoren Sorte und Versuchsjahr für den Feuchtklebergehalt am Standort Rauischholzhausen dargestellt. Im Vergleich der beiden Standorte, war festzustellen, dass in 2016 in Rauischholzhausen ein deutlich höheres Niveau der Gluten-Gehalte als in Gießen vorzufinden war. Im darauffolgenden Jahr konnte in Gießen insgesamt ein höheres Niveau festgestellt werden, wobei beide Standorte einen vergleichbaren Wert für Helmond (ca. 23 %) erzielten. Im letzten Versuchsjahr konnten wiederholt am Standort Gießen die höheren Gluten-Gehalte erreicht werden. Allerdings lagen die E-Sorten Akteur und Helmond an beiden Standorten auf einem ähnlichen Niveau (**Tabelle 36**). In allen drei Jahren erreichte Helmond die höchsten Feuchtklebergehalte und unterschied sich signifikant zu den anderen Sorten. Während der gesamten Versuchsdauer wiesen die E-Sorten erwartungsgemäß signifikant höhere Feuchtklebergehalte als die A-Sorten auf. Nur JB Asano konnte in 2016 mit der Sorte Akteur gleichziehen. In 2016 erreichten bzw. überschritten Akteur, Helmond und Asano den angestrebten Wertebereich. Ausschließlich RGT Reform blieb knapp darunter mit 24,6 %. Im Jahr 2017 wurden insgesamt deutlich niedrigere Werte erreicht. Keine der Sorten lag im erwünschten Wertebereich (25-30 %). Dies spiegeln auch die Ergebnisse des Proteingehaltes wider (**Tabelle 32, Abbildung 50**). Die E-Sorten lagen auf einem vergleichbaren Level. RGT Reform erzielte den niedrigsten Mittelwert und unterschied sich signifikant zu den anderen Sorten. Im letzten

Versuchsjahr erreichte Helmond die höchsten Gluten-Gehalte und unterschied sich signifikant von den restlichen Sorten. Danach folgten Akteur, JB Asano und RGT Reform. Nur die E-Sorten erreichten den Wertebereich zwischen 25 bis 30 % Feuchtkleber.

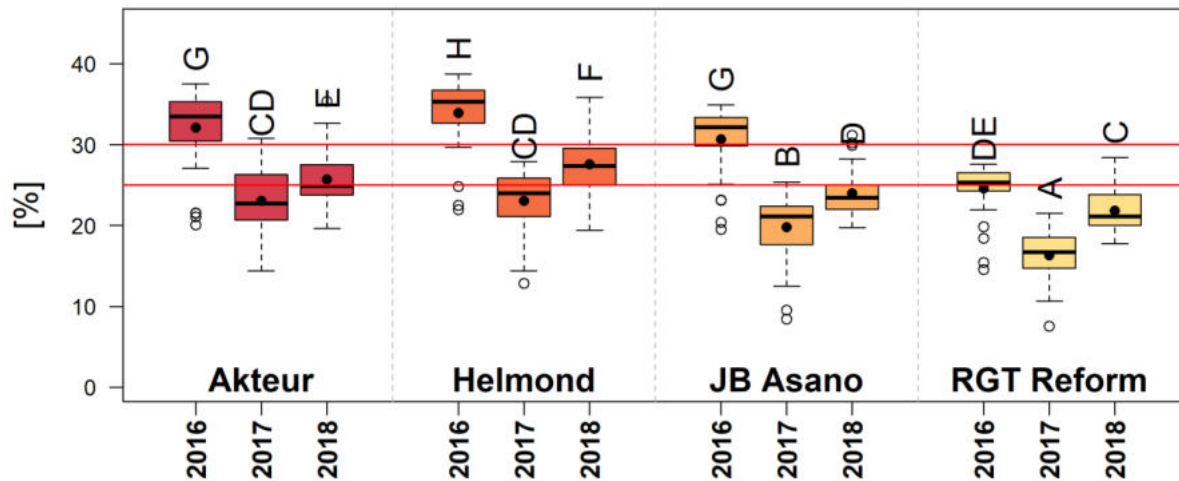


Abbildung 54: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für den Feuchtklebergehalt (Glutomatic) des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die roten Linien bilden den Wertebereich (25-30 %) für die gewünschte Qualität ab. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

In **Tabelle 36** sind die Mittelwerte der Feuchtklebergehalte der einzelnen Sorten aus den unterschiedlichen Jahren und den Standorten Gießen und Rauschholzhausen zu sehen. Beide Standorte wurden über die drei Jahre ausgewertet. Allerdings wurden die Standorte separat voneinander betrachtet.

Tabelle 36: Sortenmittelwerte für den Parameter Feuchtklebergehalt in den Jahren 2016 bis 2018 an den Standorten Gießen und Rauschholzhausen in %, Backweizen N-Düngungsversuch

Sorten	2016		2017		2018	
	GI	RH	GI	RH	GI	RH
Akteur	24,1 CD	32,1 G	24,1 CD	23,1 CD	25,5 E	25,7 E
Helmond	25,4 DE	33,9 H	23,0 BC	23,1 CD	28,0 F	27,6 F
JB Asano	23,4 BC	30,7 G	22,5 B	19,8 B	27,5 F	24,0 D
RGT Reform	19,5 A	24,6 DE	19,2 A	16,3 A	22,8 BC	21,8 C

Jahr x Düngung

In der **Abbildung 55** wurde die Interaktion zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Feuchtklebergehalt am Standort Rauschholzhausen dargestellt. Sehr deutlich stach das extrem hohe Niveau in 2016 hervor. Alle KAS-Varianten erreichten Mittelwerte über 30 % Feucht-Gluten. Im Jahr 2018 wurden niedrigere Gehalte erreicht und in 2017 konnte das niedrigste Niveau festgestellt werden. In 2017 und 2018 wurde häufig die untere Grenze von 25 % nicht erreicht.

In den ersten beiden Jahren erzielte die Null-Variante die geringsten Mittelwerte. Im Jahr 2018 zeigte sich dies nicht. Die Null-Variante erreichte einen vergleichbaren Wert wie die meisten gedüngten Varianten, mit Ausnahme von Nr. 9 und 10. Wurden die Varianten 2, 8 und 9 verglichen, zeigte sich, dass im Jahr 2016 Nr. 2 und 9 auf einer Höhe lagen. Die Variante 8 erreichte einen niedrigeren Gehalt, unterschied sich allerdings nicht signifikant zur Variante neun. In den beiden darauffolgenden Jahren zeichnete sich ab, dass es keinen statistisch abgesicherten Unterschied zwischen den drei Varianten gab. Trotz allem erzielte die Variante 9 tendenziell etwas höhere Gluten-Gehalte. Am Standort Gießen war eine deutlich stärkere Differenzierung zwischen den Variante zu erkennen. Wurden die Varianten 3 bis 6 (Σ 200 kg N/ha) innerhalb der Jahre untereinander verglichen, waren keine signifikanten Unterschiede, wie auch in Gießen, zu verzeichnen. In der Summe erhielt die Nr. 7 20 kg N/ha mehr, als die Varianten 3 bis 6. In der gesamten Versuchsperiode konnten diese Varianten vergleichbare Gluten-Gehalte zu Variante 7 erzielen. Die höchste N-Düngung erhielt Variante 10 (Σ 240 kg N/ha). Am Standort Rauschholzhausen wies sie in 2016 und 2017 vergleichbare Feuchtklebergehalte wie Variante 7 auf. Nur im Ausnahmejahr 2018 erreichte Variante 10, verglichen mit Variante 7, einen signifikant höheren Wert.

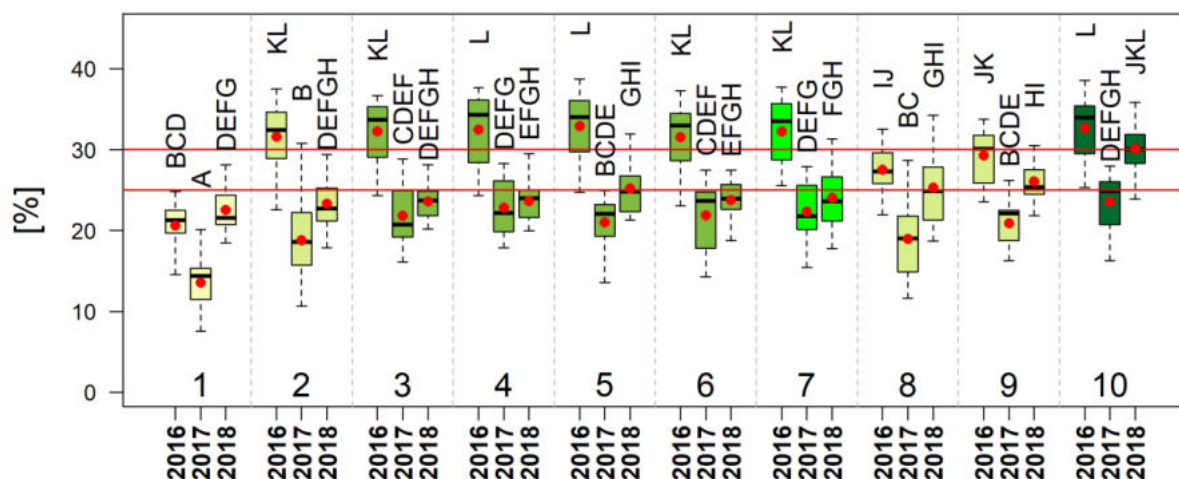


Abbildung 55: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Feuchtklebergehalt (Glutomatic) des Weizens in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die roten Linien bilden den Wertebereich (25-30 %) für die gewünschte Qualität ab. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.2.3 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Glutenindex

Gießen

Mithilfe der statischen Auswertung wurde ersichtlich, dass alle Haupteffekte und alle Interaktionen einen signifikanten Effekt aufzeigten. Dabei werden die Haupteffekte von den Wechselwirkungen überdeckt. Nicht nur die Jahreswitterung war von zentraler Bedeutung, sondern auch die unterschiedliche Sortenreaktion, bezüglich der getesteten N-Varianten (**Tabelle 37**).

Tabelle 37: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Glutenindex des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

<i>Prüffaktoren</i>	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	< 0,001	***

Jahreseffekt

In den Jahren 2016 und 2017 wurde für den Glutenindex ein vergleichbares Niveau beobachtet (89,9; 88,8 %). Eine Besonderheit war, dass im Mittel über alle Sorten und N-Varianten, in 2018, ein deutlich niedrigeres Niveau, verglichen mit den Vorjahren, erzielt wurde (79,7 %) (**Abbildung 56**). Vergleich man die Ergebnisse des Glutenindex mit den Protein- und Feuchtklebergehalten (**Abbildung 48, Abbildung 52**) fiel auf, dass für 2018 die Protein- und Glutengehalte sehr hoch waren. Im Gegensatz dazu war der Glutenindex signifikant niedriger, als in den vorangegangenen Jahren.

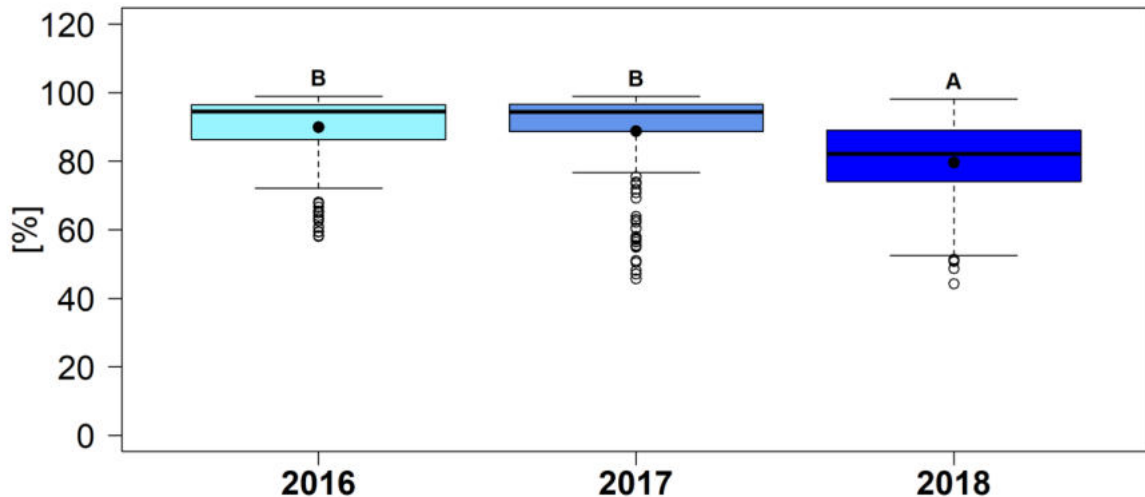


Abbildung 56: Jahreseffekt für den Glutenindex (Glutomatic) des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Der Effekt war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Sorte x N-Düngung

Es war deutlich zu erkennen, dass die Sorte JB Asano anders auf die N-Düngung reagierte, als die übrigen Sorten (**Abbildung 57**). Alle Düngungsvarianten dieser Sorte wiesen die niedrigsten Werte für den Glutenindex auf und unterschieden sich signifikant zu den restlichen Sorten. Außerdem war die Varianz innerhalb der Düngungsvarianten deutlich größer, als bei den anderen Sorten.

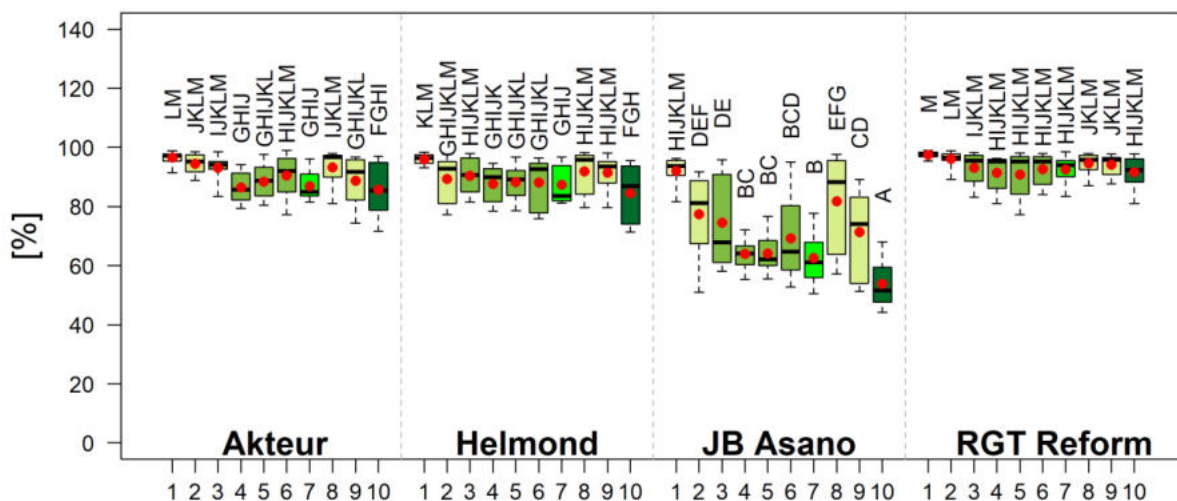


Abbildung 57: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für den Glutenindex (Glutomatic) des Weizens in Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Sorte x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Es ist davon auszugehen, dass die Sorte JB Asano den weichsten bzw. den schwächsten Kleber besaß. Absolut betrachtet, wies RGT Reform den stärksten Kleber auf. Für jede getestete Sorte erreichte die Kontrolle, absolut betrachtet, den höchsten und die Variante 10 (Σ 240 kg N/ha) den absolut niedrigsten Glutenindex.

Rauischholzhausen

Anhand der statischen Auswertung wurden signifikante Unterschiede für alle Haupt- und Wechselwirkungen festgestellt. Anhand dessen wurde deutlich, dass sowohl das Versuchsjahr einen großen Einfluss aufwies, als auch die Sorten unterschiedlich auf die N-Düngung reagierten (**Tabelle 38**).

Tabelle 38: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Glutenindex des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018

<i>Prüffaktoren</i>	<i>p-Wert</i>	<i>Signifikanz</i>
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	< 0,001	***

Jahreseffekt

In der nachfolgenden Abbildung wurde der Jahreseffekt für den Glutenindex am Standort Rauischholzhausen dargestellt. Das höchste Niveau wurde in 2017 (94,6 %) und das niedrigste in 2016 (79,0 %) erzielt. Das Jahr 2018 lag mit 83,3 % dazwischen. Werden die Glutenindices den Protein- und Feuchtklebergehalten gegenübergestellt, fiel auf, dass ein gegenläufiger Verlauf zu verzeichnen war. Dies war auch am Standort Gießen zu beobachten.

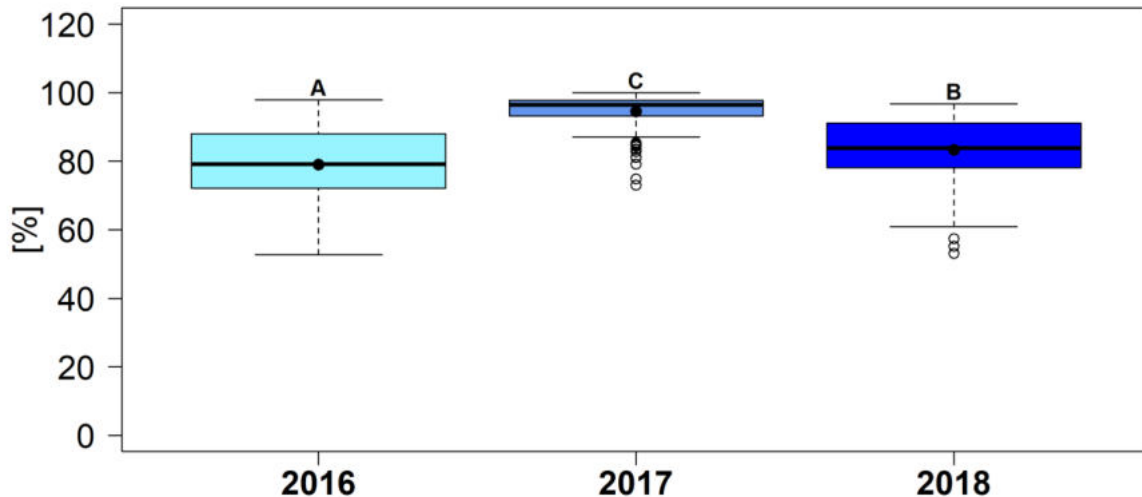


Abbildung 58: Jahreseffekt für den Glutenindex (Glutomatic) des Weizens in Raischholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Der Effekt war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Sorte x N-Düngung

Für die Interaktion zwischen Sorte und N-Düngung ließ sich beobachten, dass die Sorte RGT Reform absolut betrachtet, die höchsten Werte, beziehungsweise die geringste Schwankung, innerhalb der Varianten, aufwies (**Abbildung 59**). Die E-Sorten lagen auf einem vergleichbaren Niveau. Es war eine größere Variabilität der Werte zu beobachten. Über alle Varianten erbrachte JB Asano den niedrigsten Glutenindex und damit den schwächsten Kleber. Die Variante Nr. 10 ($\sum 240$ kg N/ha) erzielte über alle Sorten, wie auch in Gießen, den absolut niedrigsten Wert. Wohingegen die Kontrolle für die Sorten Akteur, Helmond und JB Asano die absolut höchsten Glutenindices erzielte. Nur für RGT Reform konnte dies nicht bestätigt werden.

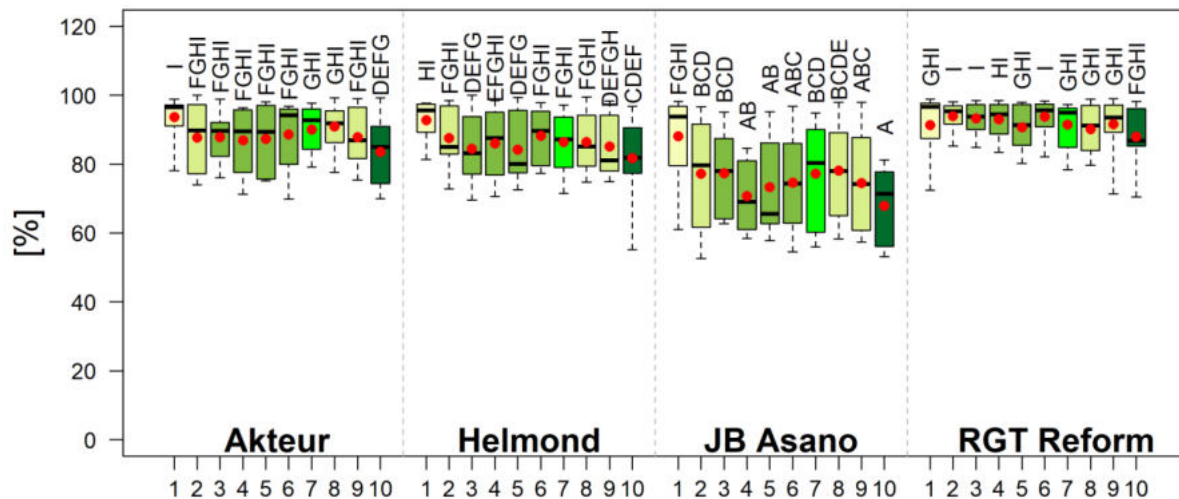


Abbildung 59: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für den Glutenindex (Glutomatic) des Weizens in Rausholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Sorte x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.2.4 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf das Glutenin-Makropolymer

Gießen

Aufgrund der statistischen Auswertung mit R Studio konnte festgestellt werden, dass die Prüffaktoren alle signifikante Ergebnisse aufwiesen. Des Weiteren ergaben sich für die Wechselwirkungen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung statistisch abgesicherte Effekte. Somit wurde die Relevanz des Faktors Versuchsjahres erneut hervorgehoben (**Tabelle 39**).

Tabelle 39: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Gehalt an Glutenin-Makropolymer im Weizenmehl, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	0,006	**
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,114	n.s.

Jahr x Sorte

In der nachfolgenden Abbildung wurden die GMP-Gehalte des Weizenmehls, des Standortes Gießen (2016 – 2018), dargestellt (**Abbildung 60**). Wurden die GMP-Gehalte mit den Proteingehalten verglichen, war eine ähnliches Verhalten beider Parameter zu erkennen (vgl. **Abbildung 48**). Mit Ausnahme die Sorte JB Asano im Jahr 2017, die verglichen mit dem Vorjahreswert für den GMP-Gehalt ein niedrigeres und für den Proteingehalt ein höheres Niveau erzielte. Im Jahr 2016 wiesen die E-Sorten Akteur (2,58 %) und Helmond (2,71 %) erwartungsgemäß signifikant höhere GMP-Gehalte als die A-Sorten auf, allerdings ohne statistisch abgesicherten Unterschied zueinander. JB Asano (2,10 %) und RGT Reform (2,21 %) unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant. In 2017 erreichten die Sorten Akteur (2,80 %), Helmond (2,43 %) und RGT Reform (2,54 %) die höchsten Werte und unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Nur JB Asano erzielte ein signifikant niedrigeres Ergebnis (1,78 %). Im letzten Versuchsjahr wiesen alle Sorten ein sehr hohes Niveau auf. Helmond erbrachte den höchsten GMP-Wert (3,23 %) und hob sich signifikant von den anderen Sorten ab. Die Sorten Akteur (2,83 %), JB Asano (2,66 %) und RGT Reform (2,78 %) unterschieden sich nicht voneinander. Abschließend ist festzuhalten, dass die GMP-Werte für alle Sorten, in den ersten beiden Jahren, auf einem vergleichbaren Niveau lagen. In 2018 erreichten alle Sorten die höchsten GMP-Gehalte.

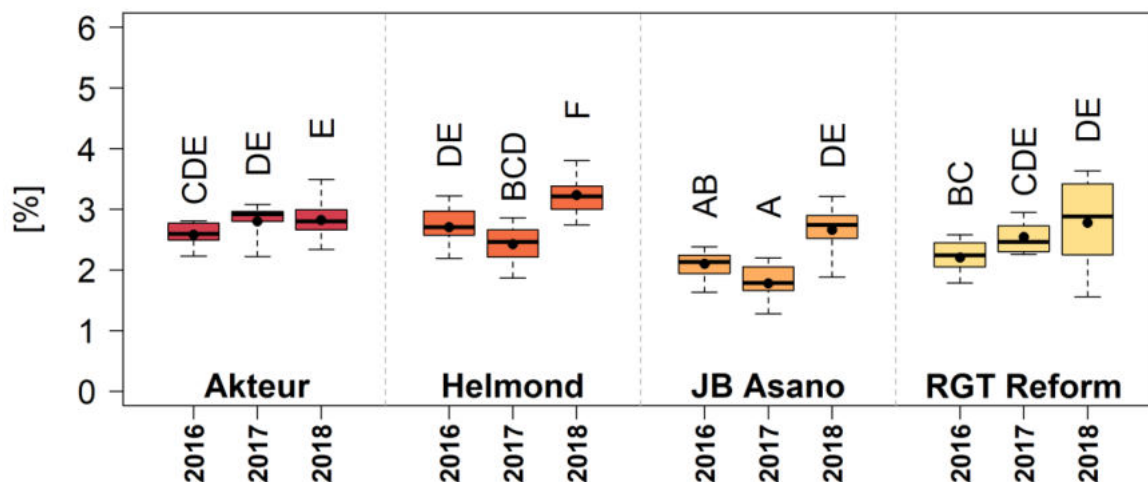


Abbildung 60: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für das Glutenin-Makropolymer des Weizenmehls in Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Jahr x N-Düngung

In **Abbildung 61** wurde die Wechselwirkung zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Untersuchungsparameter Glutenin-Makropolymer am Standort Gießen veranschaulicht. Für jede Düngungsvariante konnte, abhängig von Witterungsereignissen, von Jahr zu Jahr ein höheres Niveau für den Proteingehalt beobachtet werden (**Abbildung 49**). Für die GMP-Gehalte konnte dieser Trend nicht eindeutig bestätigt werden. Innerhalb und auch zwischen den Jahren 2016 und 2017 gab es ausschließlich geringfügige signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Im Jahr 2018 konnten sich wenige Varianten abgrenzen. Als Beispiel erzielte die Düngungsvariante 5 einen signifikant höheren GMP-Wert, als die Nullvariante und die Nr. 7. Ansonsten wiesen die restlichen Varianten keine Unterschiede zueinander auf. Wurden die Varianten aus 2018 mit denen der Vorjahre verglichen wurde deutlich, dass die Variante 5 besser abschnitt als im Jahr 2017. Ebenso war es für Nr. 8 zu beobachten. Hier konnte der Weizen mit signifikant mehr GMP im Vergleich zu 2016 und 2017 überzeugen. Für die Variante Nr. 10 wurde in 2018 ein signifikant höherer GMP-Gehalt als in 2016 ermittelt.

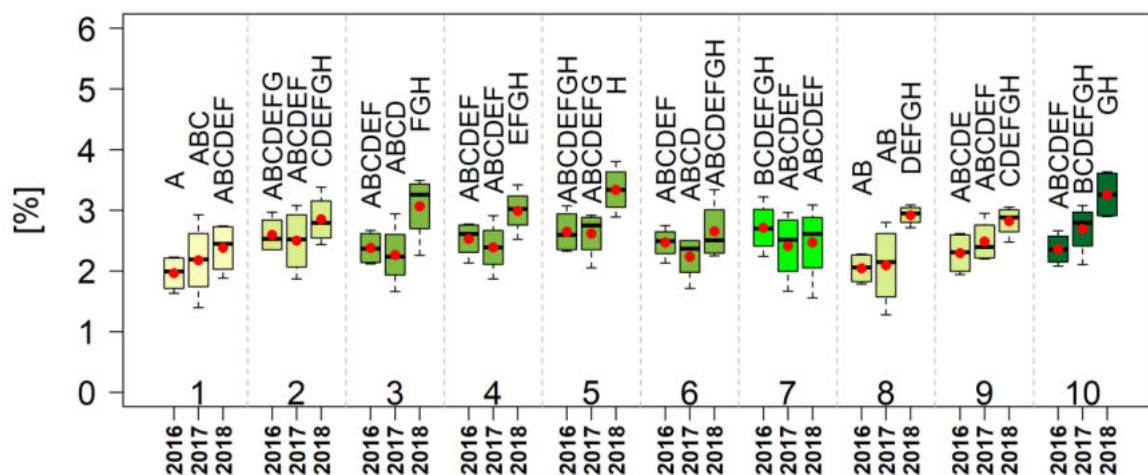


Abbildung 61: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für das Glutenin-Makropolymer des Weizenmehls in Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Jahr x N-Düngung war signifikant ($p = 0,006$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Rausholzhausen

Durch die statistische Auswertung konnte festgestellt werden, dass die Hauptwirkungen Versuchsjahr, Sorte und N-Düngung, signifikant waren. Es wurden keine signifikanten Ergebnisse für die Wechselwirkungen gefunden, sodass davon ausgegangen wurde, dass der Jahreseffekt eine geringe Bedeutung hatte (**Tabelle 40**).

Tabelle 40: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Gehalt an Glutenin-Makropolymer im Weizenmehl, Backweizen N-Düngungsversuch Rausholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	0,828	n.s.
<i>Jahr x N-Düngung</i>	0,066	n.s.
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,274	n.s.

Jahreseffekt

In der nachfolgenden Abbildung wurde der Jahreseffekt für den Parameter GMP-Gehalt dargestellt (**Abbildung 62**). Der mittlere GMP-Gehalt des Jahres 2016 lag bei 2,22 % und war signifikant niedriger im Vergleich zu den darauffolgenden Versuchsjahren (2017: 2,48 %, 2018: 2,40 %). Wohingegen die Proteingehalte in Rausholzhausen (**Abbildung 50, Abbildung 51**) eine entgegengesetzte Reaktion zeigten, sodass in 2016 die höchsten Proteingehalte erzielt wurden.

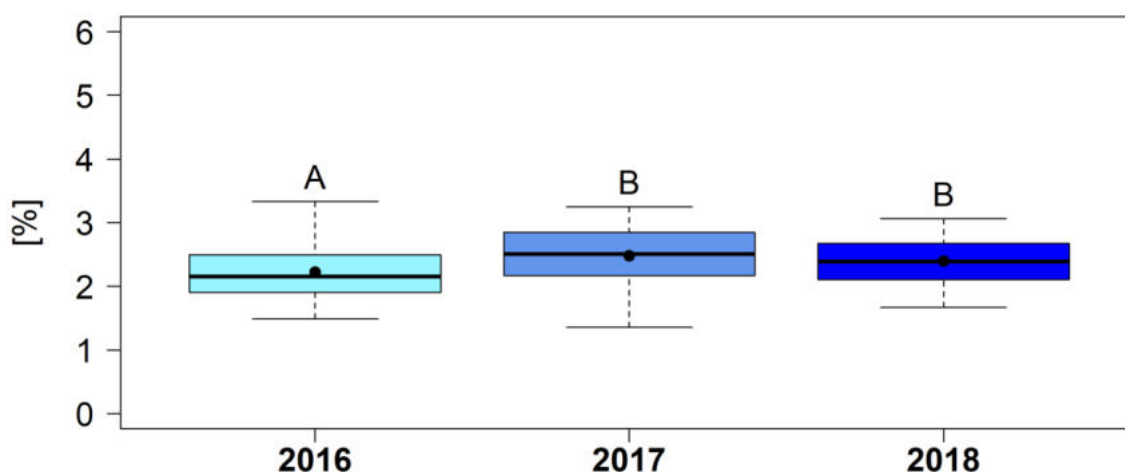


Abbildung 62: Einfluss des Versuchsjahres für das Glutenin-Makropolymer des Weizenmehls, Parzellenversuche Rausholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Hauptwirkung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Sorteneffekt

Für den Sorteneinfluss war zu erkennen, dass die E-Sorten signifikant höhere GMP-Gehalte aufwiesen (Akteur: 2,62 %; Helmond: 2,58 %) im Vergleich zu den A-Sorten (JB Asano: 2,06 %; RGT Reform: 2,21 %) (**Abbildung 63**). Am Standort Gießen konnte diese klare Abgrenzung zwischen den E- und A-Sorten nicht beobachtet werden, da die Sorte RGT Reform relativ hohe GMP-Gehalte aufwies (**Abbildung 60**).

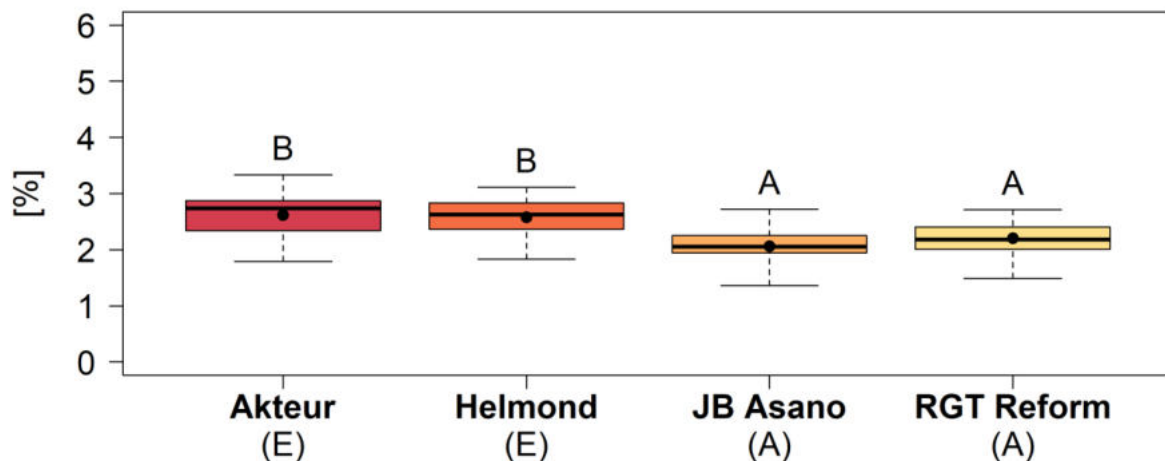


Abbildung 63: Einfluss der Sorte auf das Glutenin-Makropolymer des Weizenmehls in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Hauptwirkung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

N-Düngungseffekt

Für die N-Düngungsvarianten am Standort Rauschholzhausen konnte, genau wie in Gießen, kein großer Unterschied festgestellt werden (**Abbildung 64, Abbildung 61**). Die Varianten 3 bis 6 ($\Sigma 200$ kg N/ha) unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Weder Variante 7, die in der Summe 20 kg N/ha mehr erhielt, noch Variante 10 ($\Sigma 240$ kg N/ha) wiesen statistisch abgesicherte Unterschiede zu den bereits aufgezählten Varianten auf. Die Varianten 2, 8 und 9 ($\Sigma 180$ kg N/ha) unterschieden sich nicht voneinander. Am schlechtesten haben die Kontrolle und die Variante 8 abgeschnitten. Sie zeigten signifikant niedrigere GMP-Gehalte gegenüber den Varianten 4, 5 und 7.

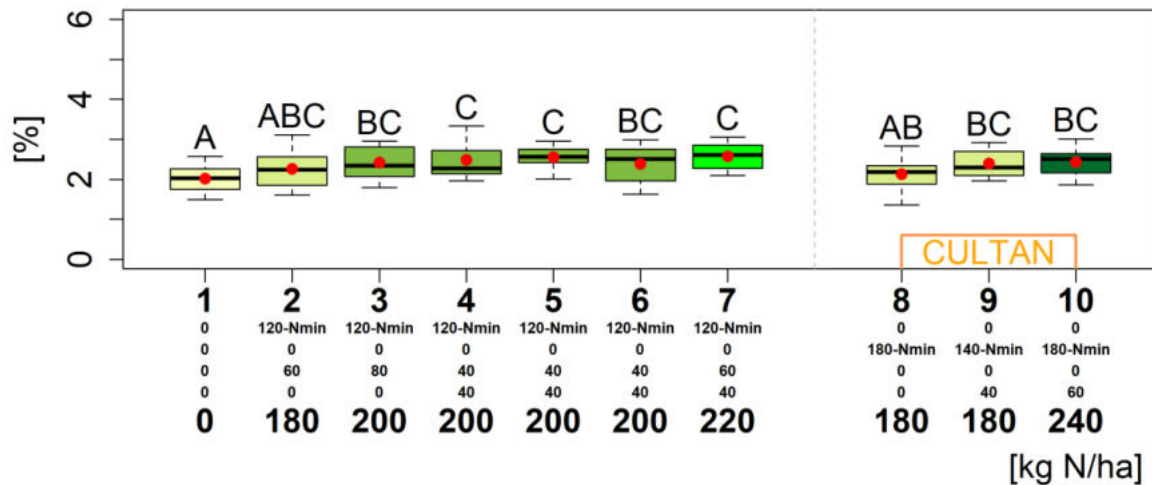


Abbildung 64: Einfluss der N-Düngung auf das Glutenin-Makropolymer des Weizenmehls in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Hauptwirkung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.2.5 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Glutenin-Makropolymer Anteil am Proteingehalt des Weizenmehls

Gießen

Hinsichtlich des GMP-Anteils am Proteingehalt des Weizenmehls konnte festgestellt werden, dass die Hauptfaktoren einen signifikanten Effekt aufwiesen. Darüber hinaus konnten für die Wechselwirkung Jahr x Sorte, ein hoch signifikanter Effekt beobachtet werden. Für die Wechselwirkung zwischen Sorte und N-Düngung, sowie Jahr x N-Düngung, wurde kein signifikanter Effekt ermittelt (**Tabelle 41**).

Tabelle 41: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Anteil des Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Weizenmehls, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	0,0014	**
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	0,081	n.s.
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,013	*

Jahreseffekt

In den Jahren 2016 und 2017 unterschieden sich der GMP-Anteil am Gesamt-Protein nicht (23,0; 23,2 %). Im letzten Versuchsjahr wurde ein signifikant höherer GMP-Anteil erzielt (24,6 %) (**Abbildung 65**). Der Trend der Daten ließ sich mit den Feuchtgluten-Gehalten gut vergleichen (**Abbildung 52**). Jedoch weniger gut mit den dazugehörigen Proteingehalten (**Abbildung 48**).

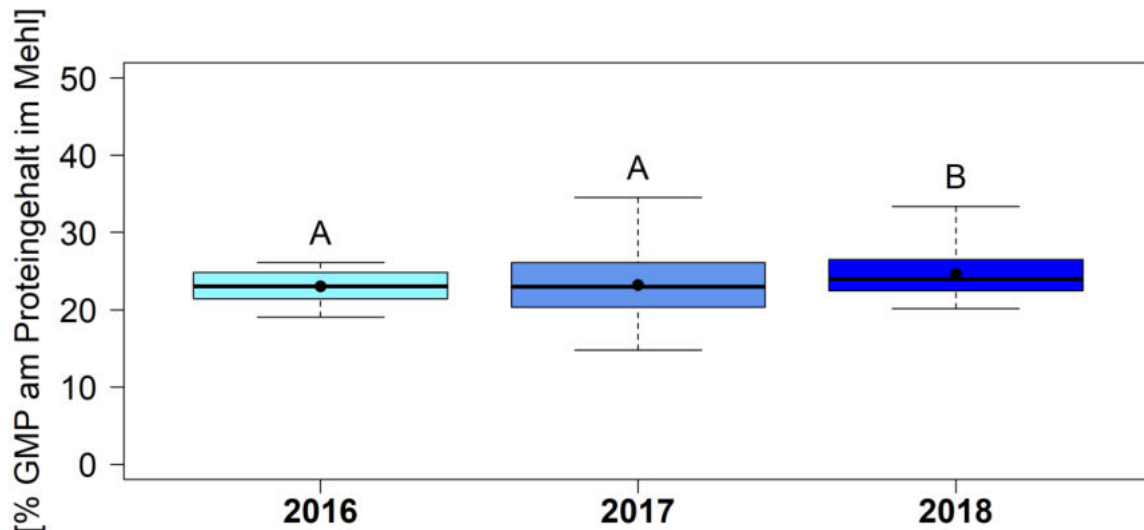


Abbildung 65: Einfluss des Versuchsjahres für den Anteil an Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Mehles des Weizenmehls, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Hauptwirkung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Sorte x N-Düngung

Die Wechselwirkung zwischen der Sorte und der N-Düngung wurde in **Abbildung 66** veranschaulicht. Es konnte festgestellt werden, dass die N-Düngung einen nur schwach signifikanten Effekt auf den GMP-Anteil am Gesamt-Protein zeigte. Die Null-Varianten bzw. die niedrigste Düngungsstufe (Nr. 2, 8 und/oder 9; $\Sigma 180$ kg N/ha) wiesen im Vergleich zur Variante 10 ($\Sigma 240$ kg N/ha) tendenziell höhere GMP-Anteile auf.

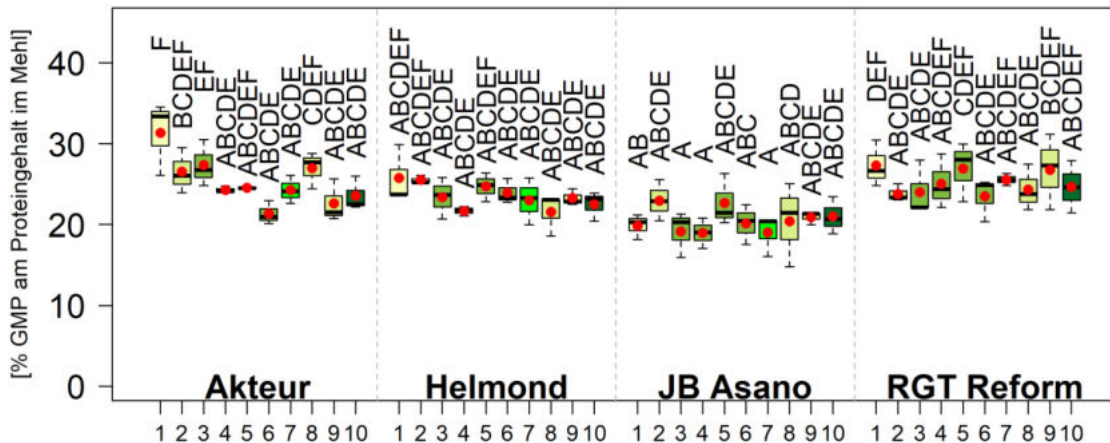


Abbildung 66: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für den Anteil an Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Mehles in Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Sorte x N-Düngung war signifikant ($p = 0,013$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Rauischholzhausen

Auf Basis der statistischen Auswertung wurde festgestellt, dass die Hauptfaktoren, Versuchsjahr und Sorte, signifikante Unterschiede aufwiesen. Für die N-Düngung konnten keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden. Weiterhin ergab sich die Wechselwirkung zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung (**Tabelle 42**).

Tabelle 42: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Anteil des Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Weizenmehls, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	0,143	n.s.
<i>Jahr x Sorte</i>	0,168	n.s.
<i>Jahr x N-Düngung</i>	0,0015	**
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,256	n.s.

Sorteneffekt

Auf Basis von dreijährigen Feldversuchen am Standort Rauschholzhausen konnte gezeigt werden, dass die unterschiedlichen Sorten einen voneinander abweichenden GMP-Anteil am Proteingehalt des Mehls aufwiesen. Die E-Sorte Akteur erbrachte über den gesamten Versuchszeitraum die höchsten GMP-Anteile am Mehlprotein (22,7 %) und hob sich signifikant von den übrigen Sorten ab. Helmond (20,7 %) und RGT Reform (21,1 %) bewegten sich im mittleren Bereich. Den niedrigsten GMP-Anteil wies JB Asano mit 19,0 % auf (**Abbildung 67**).

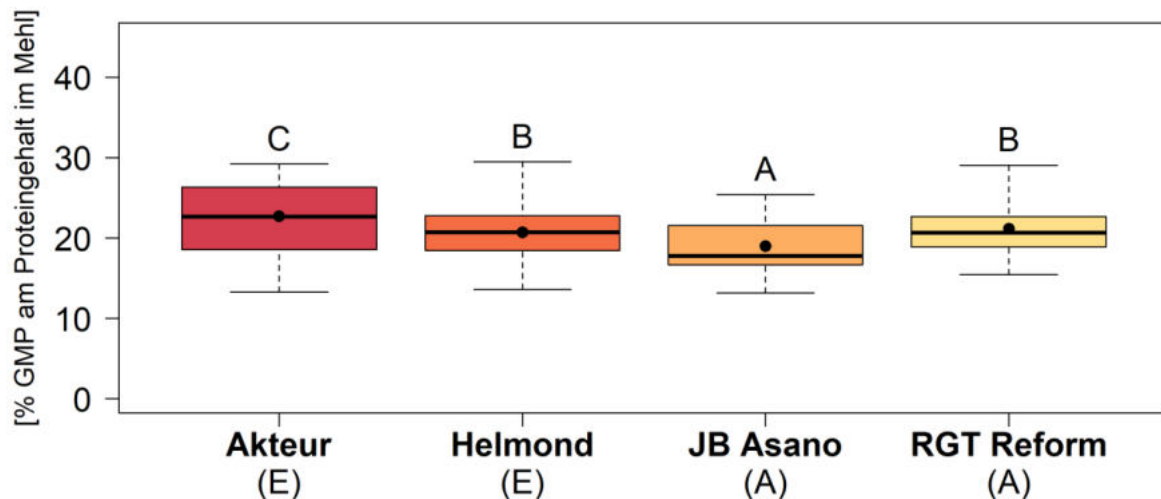


Abbildung 67: Einfluss der Sorte für den Anteil an Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Weizenmehls in Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Hauptwirkung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Versuchsjahr x N-Düngung

Werden die zehn Varianten für jedes Jahr separat betrachtet, gab es keine statistisch abgesicherten Unterschiede. Auffallend war, dass im Jahr 2017 ein höheres Niveau über alle Varianten für den GMP-Anteil erzielt wurde. Dieser Effekt war für die meisten Varianten allerdings nicht signifikant. Die Jahresmittelwerte für den GMP-Anteil lagen in 2016 bei 18,2 %; in 2017 bei 24,5 % und 2018 bei 20,0 % (**Abbildung 68**). Für den Parameter Proteingehalt wurden in 2017 die niedrigsten Gehalte ermittelt (vgl. **Abbildung 50**, **Abbildung 51**). Dies könnte ein Hinweis auf eine mögliche negative Korrelation zwischen GMP-Anteil am Mehlprotein und der generellen Proteinmenge sein.

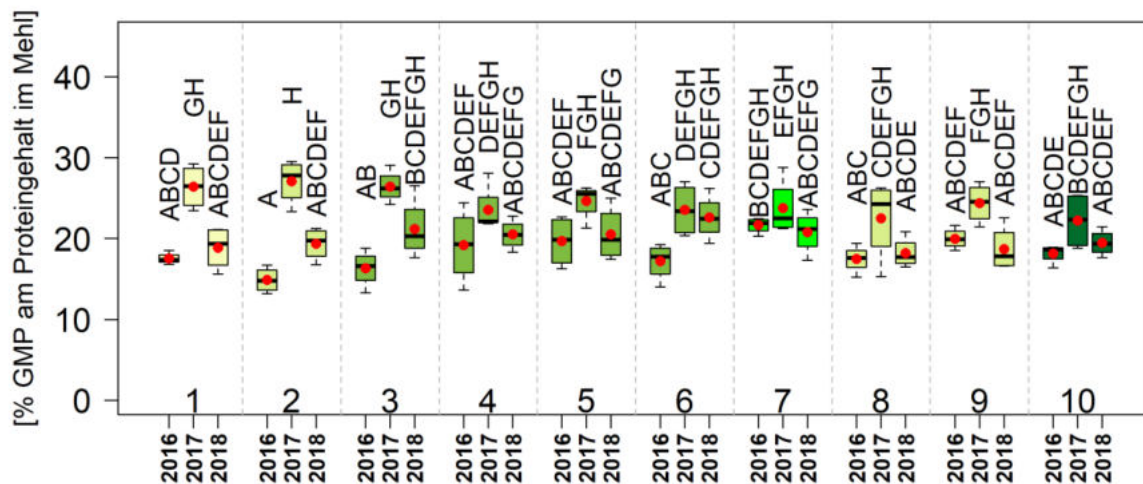


Abbildung 68: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für den Anteil an Glutenin-Makropolymer am Proteingehalt des Mehles in Rauischholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung zwischen Versuchsjahr x N-Düngung war hoch signifikant ($p = 0,0015$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.2.6 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf den Sedimentationswertes

Gießen

Anhand von **Tabelle 43** ist zu erkennen, dass sowohl die Haupteffekte, als auch alle Wechselwirkungen signifikante Unterschiede aufwiesen. Dies ließ die Schlussfolgerung zu, dass das Versuchsjahr wiederholt einen großen Einfluss hatte. Außerdem schienen die Sorten unterschiedlich auf die N-Varianten zu reagieren, was auf die Interaktion zwischen Sorten und Düngung hinwies.

Tabelle 43: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Sedimentationswert des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	< 0,001	***

Jahreseffekt

Für den Sedimentationswert am Standort Gießen war festzuhalten, dass in 2016 der niedrigste Sedimentationswert (37 ml) und in 2018 der höchste Mittelwert erreicht wurde (46 ml). Das Jahr 2017 lag, mit einem Mittelwert von 44 ml, dazwischen. Die Jahre unterschieden sich signifikant voneinander. Verglichen mit den Ergebnissen der Proteingehalte war zu erkennen, dass es große Parallelen gab. Ein sehr geringer Anteil der Proben lag unterhalb des Grenzwertes von 22 ml. Dabei handelte es sich um Null-Varianten (**Abbildung 69**).

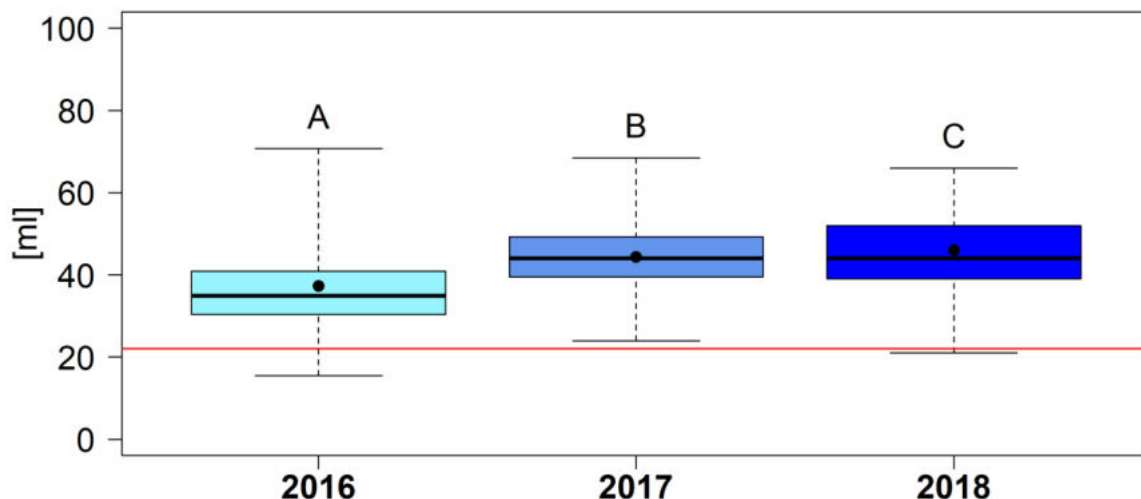


Abbildung 69: Einfluss des Versuchsjahres für den Sedimentationswert des Weizens, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einer Höhe von 22 ml. Dieser Wert entspricht der Mindestanforderung für das Interventionsgetreide. Die Hauptwirkung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Sorte x N-Düngung

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse konnte festgestellt werden, dass die Sorten unterschiedlich auf die N-Düngung bezüglich des Sedimentationswerts reagierten (**Abbildung 70**). Grundsätzlich ließ sich ein ähnlicher Trend aller Sorten feststellen, jedoch wies die E-Sorte Helmond für alle N-Varianten und die Kontrolle ein signifikant höheres Niveau im Vergleich zu den anderen Sorten auf. Mit den Varianten 3 (59 ml), 4 (62 ml), 5 (64 ml), 7 (63 ml) und 10 (61 ml) konnte Helmond die signifikant höchsten Werte erzielen. Ab einem Sedimentationswert von 45 ml (Weizenmehl Type 550) wird von einer sehr guten Qualität ausgegangen. Eine gute Qualität wird im Wertebereich 30-45 ml erzielt (Lindhauer et al. 2017). Somit konnte davon ausgegangen werden, dass der Großteil der N-Varianten der drei anderen Sorten in einem guten Bereich lag. Die Sorten Akteur, JB Asano und RGT Reform zeigten größtenteils vergleichbare Sedimentationswerte. Die Kontrolle wies stets den niedrigsten Wert auf und unterschied sich signifikant zu den gedüngten Varianten. Wohingegen die Nr. 10 ($\Sigma 240 \text{ kg N/ha}$), absolut betrachtet, die höchsten Sedimentationsvolumina erzielte.

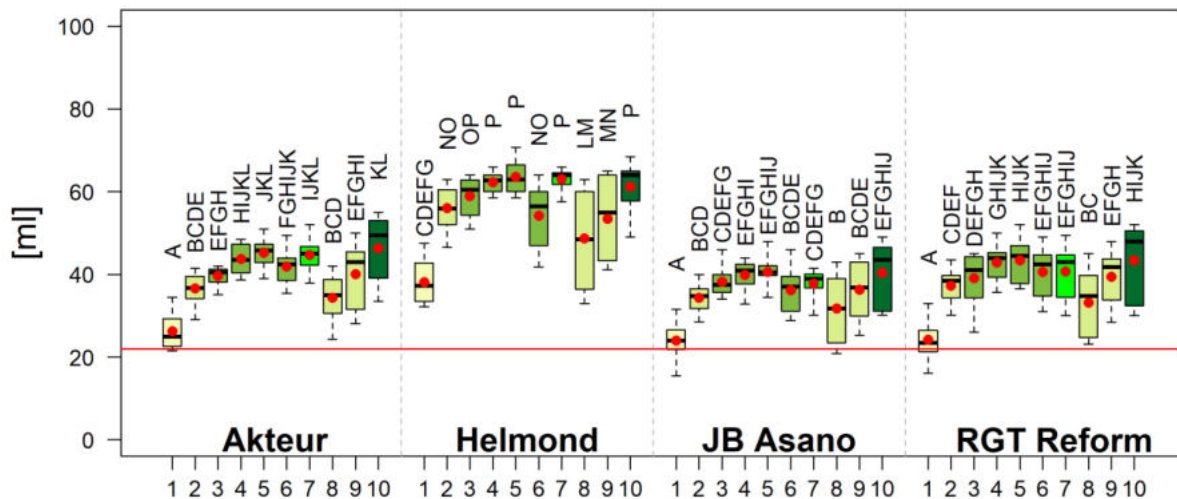


Abbildung 70: Wechselwirkungen zwischen der Weizensorte und der N-Düngung für den Sedimentationswert nach Zeleny, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einer Höhe von 22 ml. Dieser Wert entspricht der Mindestanforderung für das Interventionsgetreide. Die Wechselwirkung Sorte x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Rauischholzhausen

Mithilfe der statistischen Auswertung konnte gezeigt werden, dass genau, wie am Standort Gießen, alle Haupteffekte, sowie Wechselwirkungen signifikant waren. Die Sorten reagierten auf die variierende N-Düngung unterschiedlich (**Tabelle 44**).

Tabelle 44: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Sedimentationswert des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	< 0,001	***

Jahreseffekt

Die Sedimentationswerte der Einzeljahre unterschieden sich signifikant voneinander. Im Jahr 2016 wurden die höchsten Werte erreicht (48 ml). Hier zeigte sich allerdings auch die größte Varianz. Der geringste Mittelwert wurde für das Jahr 2018 erhoben (37 ml). Im Jahr 2017 lag der Mittelwert bei 40 ml Sedimentationsvolumen. Im Vergleich der Standorte erreichte RH, im ersten Versuchsjahr, deutlich höhere Sedimentationswerte. In den darauffolgenden Jahren wurde in Gießen ein höheres Niveau erzielt (**Tabelle 45**). Dieser Trend bestätigte sich auch anhand der Proteingehalte in diesem Zeitraum (**Tabelle 31**). Ein geringer Anteil der Proben (Null-Varianten) erreichten den Interventionsgrenzwert nicht.

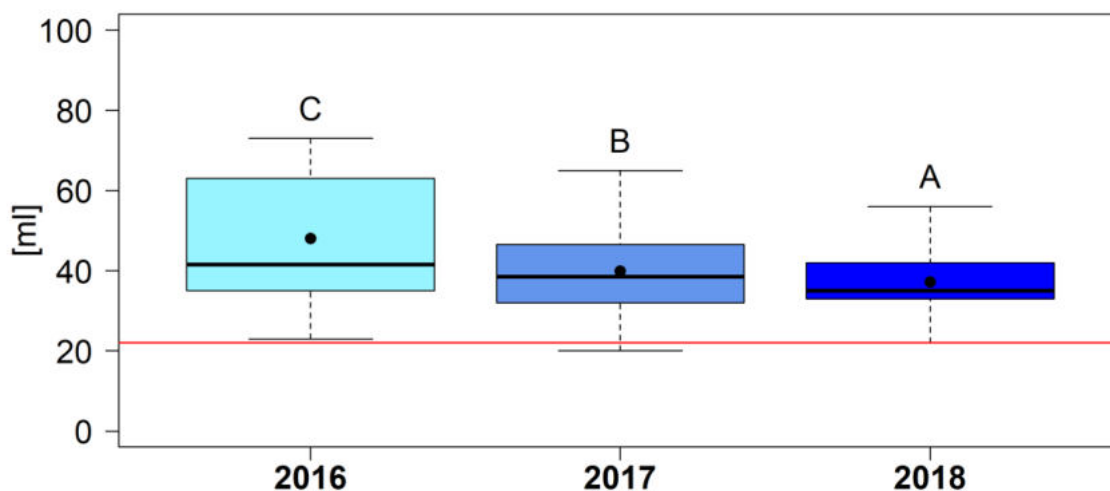


Abbildung 71: Einfluss des Versuchsjahres für den Sedimentationswert des Weizens, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einer Höhe von 22 ml. Dieser Wert entspricht der Mindestanforderung für das Interventionsgetreide. Die Hauptwirkung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

In **Tabelle 45** sind die mittleren Sedimentationswerte der einzelnen Sorten aus den unterschiedlichen Jahren und den Standorten Gießen und Rauschholzhausen zu sehen. Beide Standorte wurden über die drei Jahre ausgewertet. Allerdings wurden die Standorte separat voneinander ausgewertet.

Tabelle 45: Sortenmittelwerte für den Sedimentationswert in den Jahren 2016 bis 2018 an den Standorten Gießen und Rauschholzhausen in ml, Backweizen N-Düngungsversuch

Sorten	2016		2017		2018	
	GI	RH	GI	RH	GI	RH
Akteur	35 B	53 G	43 D	40 E	42 D	36 CD
Helmond	52 E	68 H	55 F	53 G	60 G	45 F
JB Asano	31 A	33 BC	38 C	29 A	39 C	32 B
RGT Reform	31 A	38 DE	42 D	37 D	42 D	36 D
Mittelwert	37	48	45	40	46	37

Sorte x N-Düngung

In **Abbildung 72** wurde die Wechselwirkung zwischen der Weizensorte und der N-Düngung über die drei Jahre für den Sedimentationswert am Standort Rauschholzhausen veranschaulicht. Erwartungsgemäß erbrachten die E-Sorten deutlich höhere Sedimentationswerte, als die A-Sorten. Das konnte für beide Standorte bestätigt werden. So erreichte Helmond an beiden Standorten in allen drei Jahren die höchsten und JB Asano die niedrigsten Sedimentationswerte (**Tabelle 45**). Die Rangfolge war an beiden Standorten identisch. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass die E-Sorten verglichen mit den A-Sorten größere Schwankungen innerhalb der Varianten aufwiesen. Bei allen Sorten wurde deutlich, dass sie mit einer verringerten N-Düngung, im Vergleich zur höchsten N-Stufe, ein vergleichbares Ergebnis erbrachten. Die Sorten Helmond und Akteur konnten mit der Variante 3 (Σ 200 kg N/ha) dieselben Ergebnisse erzielen, wie Variante 10 (Σ 240 kg N/ha). Die Varianten unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Bei den A-Sorten konnte sogar Nr. 2 (Σ 180 kg N/ha) mit Nr. 10 (Σ 240 kg N/ha) gleichgesetzt werden. Für diesen Fall konnten ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

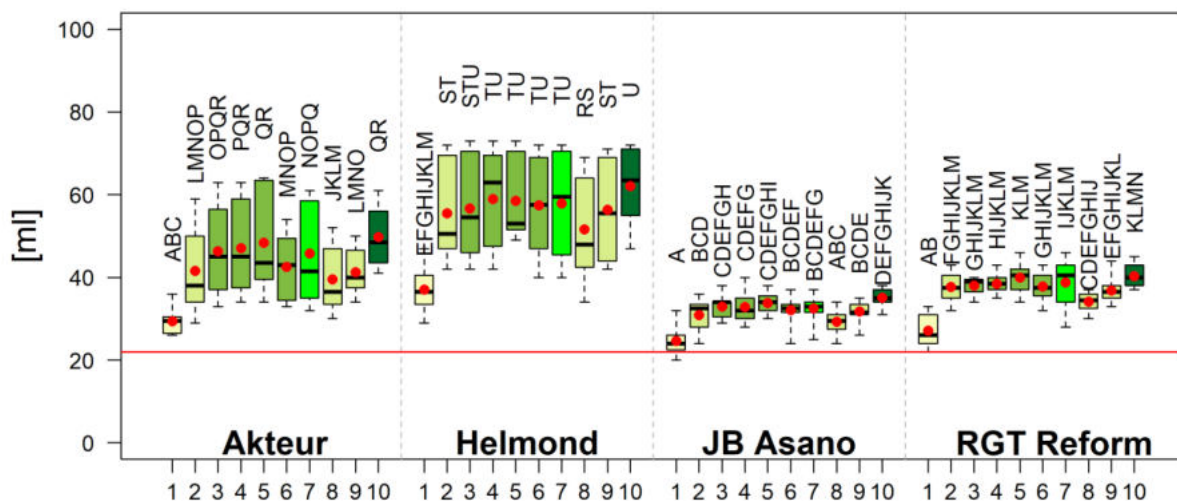


Abbildung 72: Wechselwirkungen zwischen der Weizensorte und der N-Düngung für den Sedimentationswert nach Zeleny, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einer Höhe von 22 ml. Dieser Wert entspricht der Mindestanforderung für das Interventionsgetreide. Die Wechselwirkung Sorte x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.2.7 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die Fallzahl

Gießen

Auf Basis der statistischen Auswertung zeigte sich, dass alle Haupteffekte für die Fallzahl einen signifikanten Effekt aufwiesen. Diese wurden allerdings von den Wechselwirkungen, Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung, überdeckt (**Tabelle 46**). Auch für diesen Parameter wurde deutlich, dass das Versuchsjahr einen großen Einfluss aufwies. Eine signifikante Wechselwirkung zwischen Sorte und N-Düngung konnte nicht gezeigt werden.

Tabelle 46: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Fallzahl des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,051	n.s.

Jahr x Sorte

In **Abbildung 73** sind die Sortenmittelwerte der drei Versuchsjahre dargestellt. Die Jahre unterschieden sich signifikant voneinander. Das höchste Niveau wurde im ersten Versuchsjahr erzielt ($\bar{\emptyset}$ 432 sec). Darauf folgte das Jahr 2018, mit durchschnittlich 396 sec. Mit erheblichem Abstand wurde in 2017 das niedrige Versuchsmittel erreicht (91 sec). Die Ergebnisse der beschreibenden Sortenliste (2018) bestätigen sich nur teilweise. Die Sorte RGT Reform wurde mit der höchsten Boniturnote (neun) bewertet. In den drei Versuchsjahren erzielte sie nur in 2017 und 2018 die höchsten Fallzahlen. Weiterhin wurden beiden E-Sorten mit der Boniturnote acht bewertet. In den Versuchen bewegen sie sich, ausgenommen von 2017, auf einem hohen Niveau, wobei Helmond tendenziell höhere Werte erzielte. Überraschend waren die Leistungen der Sorte JB Asano (Boniturnote sechs), die im Jahr 2016 ein vergleichbares Niveau zu Akteur und in 2018 ein signifikant höheres Ergebnis erbrachte. Für die Bewertung der Fallzahl ist nicht ausschließlich die Höhe entscheidend, sondern auch die Fallzahlstabilität. Diese Kenngröße beschreibt, wie stabil die Sorten sich bei ungünstigen Umwelteinflüssen verhalten (Bundessortenamt 2018). Die Sorten Akteur, Helmond und RGT Reform sind mit einem „+“ und JB Asano mit einem „-“ bewertet. Die Fallzahlstabilität spielte besonders im Jahr 2017 eine entscheidende Rolle. Anhand der **Abbildung 73** wurde deutlich, dass nur RGT Reform

den Grenzwert des Interventionsgetreides übertraf. Anhand dieser Entwicklung konnte die Ergebnisse der Beschreibenden Sortenliste (2018) für die Fallzahlstabilität nicht bestätigt werden.

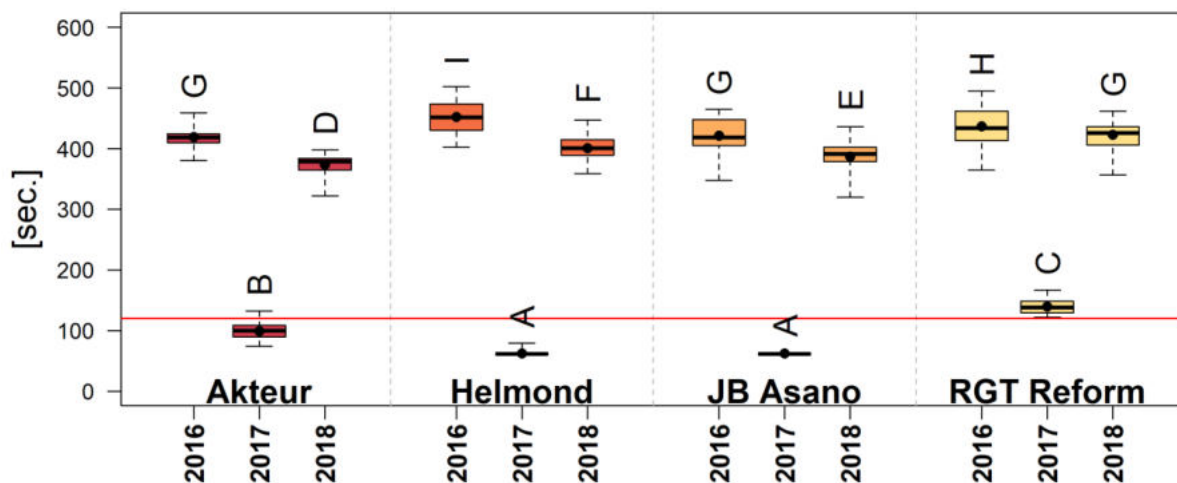


Abbildung 73: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für die Fallzahl des Weizens. Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 120 Sekunden. Dieser Wert entspricht der Mindestanforderung für das Interventionsgetreide. Die Wechselwirkung Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Jahr x N-Düngung

Für den Parameter Fallzahl zeigten sich folgenden Unterschiede zwischen den N-Düngungsstufen am Standort Gießen (**Abbildung 74**). In 2016 konnte ein positiver Zusammenhang zwischen der gedüngten N-Menge und Fallzahlhöhe beobachtet werden. Dieser Trend konnte weder für 2017, noch für 2018 bestätigt werden.

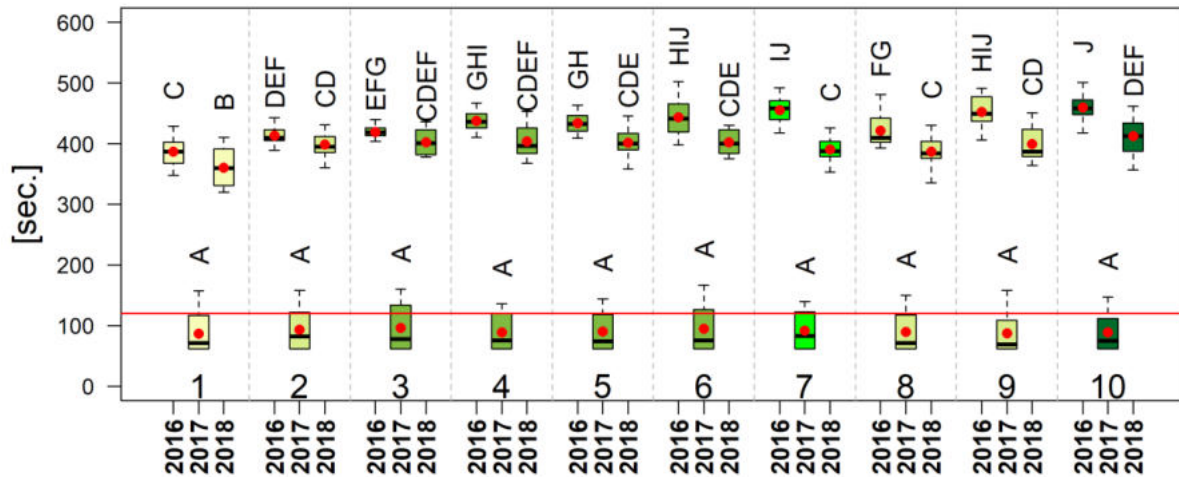


Abbildung 74: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für die Fallzahl des Weizens. Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamt-Düngemenge. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 120 Sekunden. Dieser Wert entspricht der Mindestanforderung für das Interventionsgetreide. Die Wechselwirkung N-Düngung x Jahr war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Es wurden eine Korrelationsanalyse zwischen der Fallzahl und der N-Düngung für die beiden Standorte, innerhalb der drei Jahre, erstellt. Es ergab sich kein enger Zusammenhang, basierend auf den Korrelationskoeffizienten nach Pearson, ($R^2 = 0,002$) (**Abbildung 75**). Im Jahr 2017 erzielten alle N-Varianten am Versuchsstandort Gießen eine unzureichende Fallzahl, die unterhalb des Grenzwertes von 120 sec. lag.

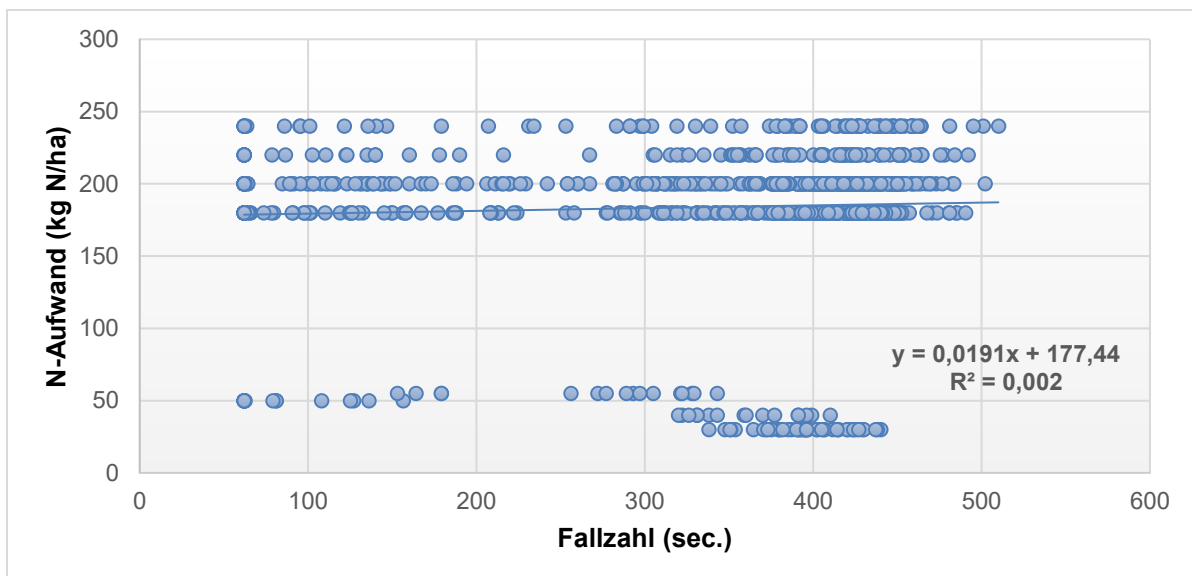


Abbildung 75: Korrelation zwischen N-Aufwand und dem Parameter Fallzahl für die durchgeführten Parzellenversuche in 2016 bis 2018 an den Standorten Gießen und Rauschholzhausen ($n = 960$)

Rauschholzhausen

Für die dreijährige Auswertung des Parzellenversuches am Standort Rauschholzhausen ergaben sich für alle Hauptwirkungen signifikante Effekte. Außerdem wies die Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte ein signifikantes Ergebnis auf. Die anderen Interaktionen zeigten keine statistisch abgesicherten Unterschiede.

Tabelle 47: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Fallzahl des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	0,069	n.s.
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,096	n.s.

N-Düngungseffekt

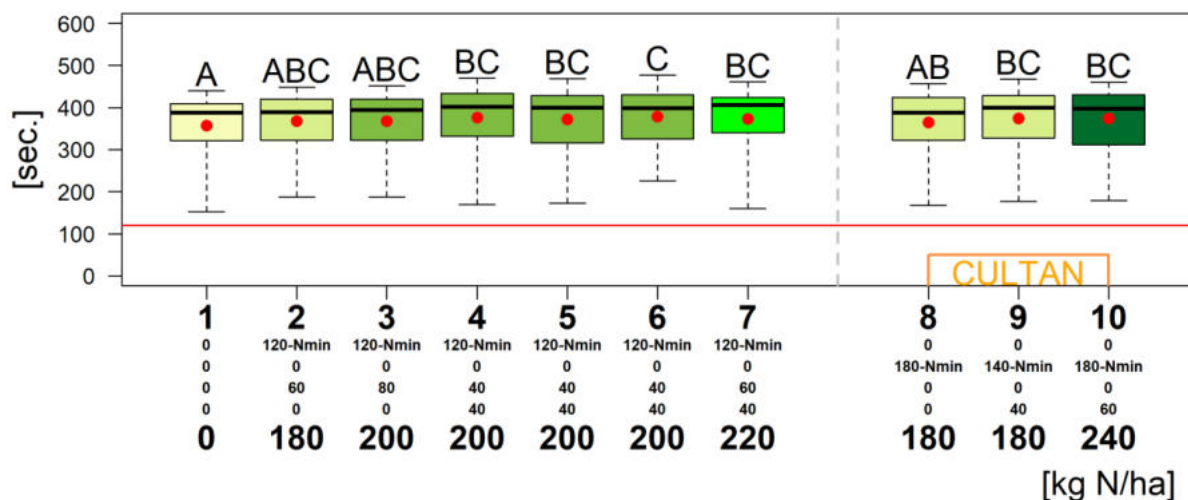


Abbildung 76: Einfluss der N-Düngung für die Fallzahl des Weizens, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamt-Düngemenge. Unterhalb der Boxplots befinden sich die einzelnen Düngegaben und die gesamte N-Menge. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 120 Sekunden. Dieser Wert entspricht der Mindestanforderung für das Interventionsgetreide. Die Hauptwirkung N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Innerhalb der drei Jahre bewegten sich die Fallzahlen in allen N-Varianten zwischen 150 und 450 sec. Die Höhe der Fallzahl war stark witterungs- und sortenabhängig. Die Nullvariante unterschied sich nicht signifikant zu den Varianten 2, 3 und 8. Zwischen den gedüngten Varianten 2 bis 10 (180 - 240 kg N/ha) gab es keine signifikanten Unterschiede für den Parameter Fallzahl (**Abbildung 76**). Dies bestätigt zusätzlich die bereits erwähnte Korrelationsberechnung nach Pearson (**Abbildung 75**).

Jahr x Sorte

Verglichen mit Gießen reagierten die Sorten am Standort RH mit weniger Schwankungen zwischen den Einzeljahren. In RH wurden im Mittel der Jahre ähnliche Werte erzielt (2016: 415 sec.; 2018: 412 sec.). Auch in RH war das Fallzahl-Niveau im Jahr 2017 mit 285 sec. deutlich niedriger, als in den Jahren 2016 und 2018. Dennoch gab es an diesem Standort keine Unterschreitung des Grenzwertes für Interventionsgetreide. In allen drei Jahren erbrachte die Sorte Helmond die absolut höchsten Mittelwerte (**Abbildung 77**). Die Sorte RGT Reform erzielte in 2016 und 2018 ein vergleichbares Niveau. Die A-Sorte JB Asano wies einen vergleichbaren Wert im dritten Versuchsjahr auf. Demgegenüber erzielte die Sorte Akteur in 2016 und 2018 den niedrigsten Mittelwert. Im Jahr 2017, das sich durch übermäßigen Niederschlag vor und während der Ernte auszeichnete, konnte Akteur die negativen Auswirkungen besser kompensieren als JB Asano. Dieses Ergebnis bestätigte die Bewertung des Bundessortenamt 2018. Trotz vergleichbarer Niederschläge (ca. 256 mm) im Zeitraum Juli bis August 2017 haben die Sorten in Rauischholzhausen weniger stark mit Auswuchs und schwacher Fallzahl reagiert, als die Sorten in Gießen.

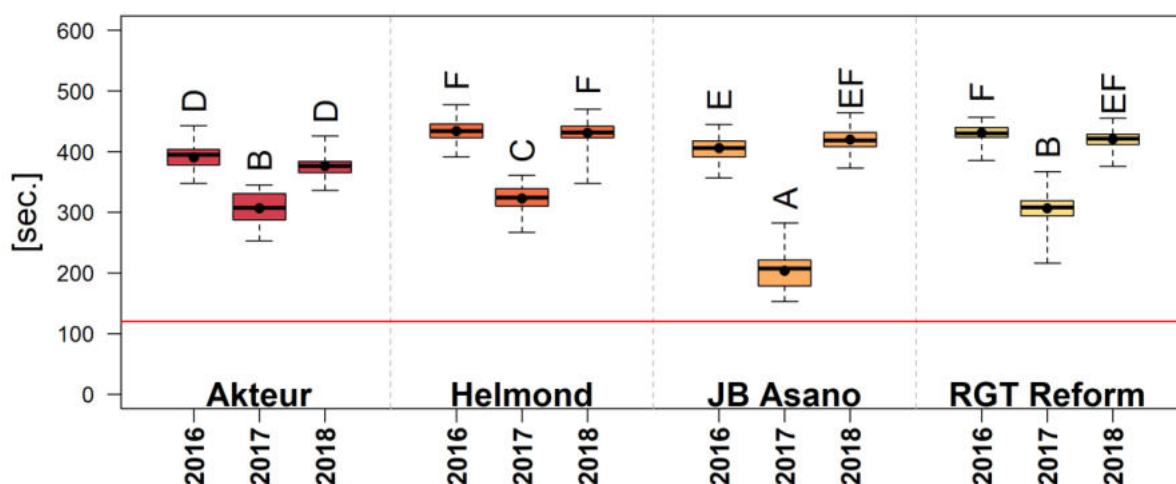


Abbildung 77: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für die Fallzahl des Weizens, Parzellenversuche Rauischholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 120 Sekunden. Dieser Wert entspricht der Mindestanforderung für das Interventionsgetreide. Die Wechselwirkung Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.2.8 Einfluss der Sorten und der N-Düngung auf den Rapid-Mix-Test (RMT)

Gießen

In den vorherigen Kapiteln wurden die drei Versuchsjahre gemeinsam ausgewertet. Für die Ergebnisse des RMT war dies nicht möglich, da die Anzahl an Proben zwischen den Jahren variierte. Im ersten Versuchsjahr wurden die Varianten 1 (Kontrolle), 2 (Σ 180 kg N/ha), 7 (Σ 220 kg N/ha), und 9 (Σ 180 kg N/ha), für die vier verwendeten Sorten auf ihre Backfähigkeit untersucht ($n=16$). Im zweiten und dritten Jahr wurde die Anzahl an Varianten erweitert ($n=32$). Es wurden die Varianten 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9 und 10 untersucht. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass in 2017 anstatt des RMTs, der Kastenbackversuch (KBV) durchgeführt wurde. Dies geschah aufgrund der durchweg sehr schwachen Fallzahlen und des sichtbaren Auswuchses. Das durchführende Backlabor konnte die einwandfreie Teigherstellung mittels RMT nicht garantieren. Daher wurde alternativ der Kastenbackversuch durchgeführt. In **Tabelle 48** wurden die Ergebnisse der statistischen Auswertung dargestellt. Der Sorteneffekt war in allen drei Jahren statistisch signifikant. Der N-Düngungseffekt wies ausschließlich in 2016 und 2018 signifikante Unterschiede auf. Die Wechselwirkungen zwischen Sorte und N-Düngung konnten aufgrund von Mangel an Wiederholungen nicht ermittelt werden.

Tabelle 48: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Backvolumen des RMT (2016, 2018) und des KBV (2017) des Weizenmehls, Type 550, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016, 2017 und 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz	p-Wert	Signifikanz	p-Wert	Signifikanz
	2016		2017		2018	
Sorte	0,002	**	< 0,001	***	< 0,001	***
N-Düngung	< 0,001	***	0,879	n.s.	< 0,001	***

Sorteneffekt

Wurden die Ergebnisse aus 2016 und 2018 verglichen, war ein ähnlicher Trend zu erkennen. Helmond bewies in beiden Jahren ein signifikant höheres Backvolumen im Vergleich zu den anderen drei Sorten, die sich auf einem ähnlichen Niveau bewegten (**Abbildung 78 a,c**). Anhand der **Tabelle 49** war zu erkennen, dass in beiden Jahren zusätzlich die absoluten Werte sehr nahe beieinander lagen. Alleinig Helmond (2016) erzielte den Wert von 660 ml Brotvolumen pro 100 g Mehl. Für das Jahr 2017 stellte sich ein gänzlich anderes Bild dar. Hier erzielten die Sorten Akteur und RGT Reform die höchsten Volumenausbeuten. Allerdings unterschied sich Helmond zu RGT Reform und JB Asano nicht signifikant.

Tabelle 49: Mittelwerte der Sorten für das Backvolumen des RMT (2016, 2018) und des KBV (2017) des Weizenmehls, Type 550, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016, 2017 und 2018

Sorten	2016	2017	2018
<i>Akteur</i>	610 A	439 C	609 A
<i>Helmond</i>	662 B	397 AB	647 B
<i>JB Asano</i>	612 A	378 A	599 A
<i>RGT Reform</i>	606 A	417 BC	595 A

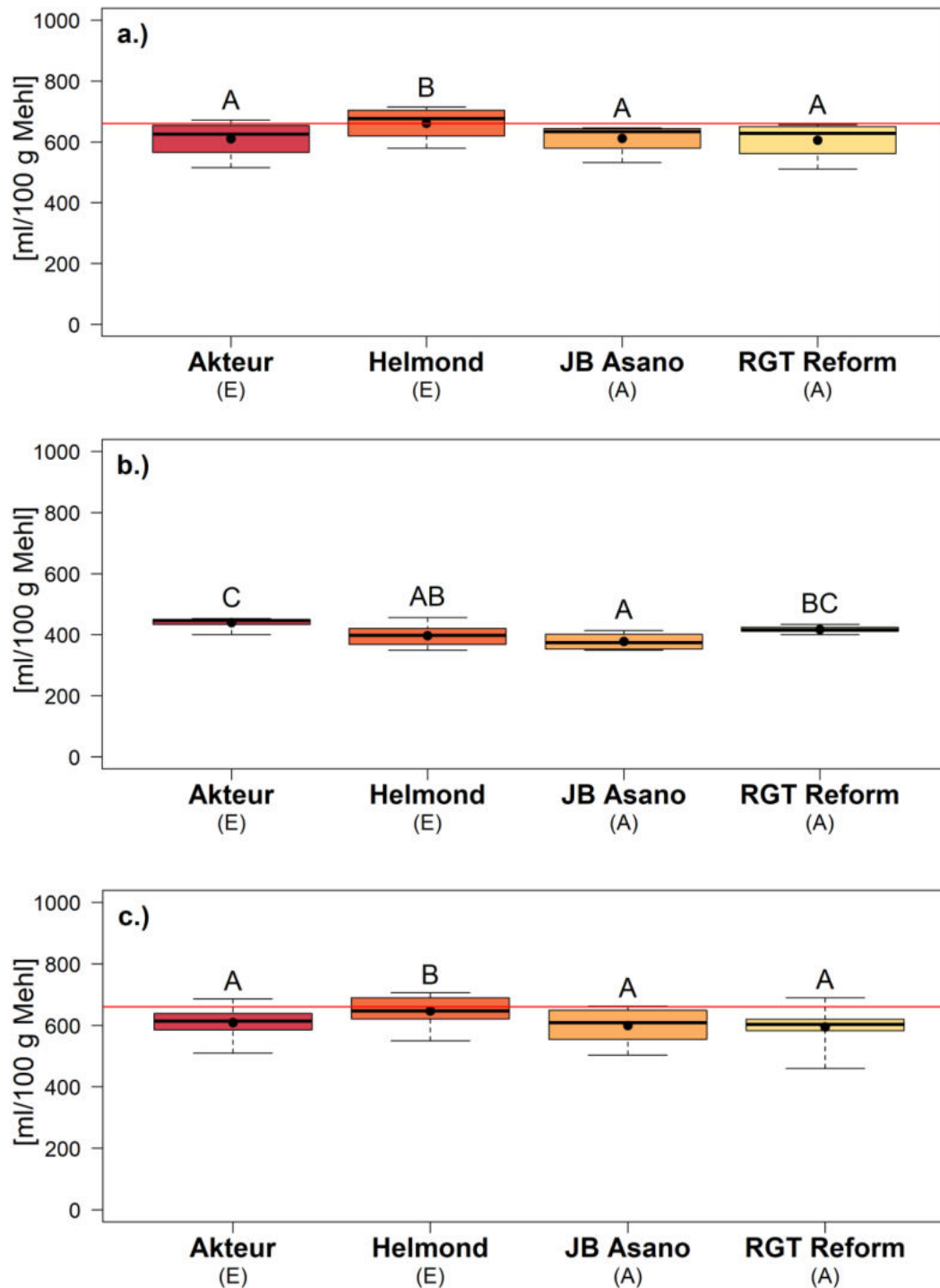


Abbildung 78 a-c: Einfluss der Sorte auf das RMT-Backvolumen des Weizens, Parzellenversuch Gießen für die Einzeljahre a.) 2016 (n=16), b.) 2017 (n=32) und c.) 2018 (n=32). Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 660 ml RMT-Brotvolumen/100 g Mehl, Type 550. Dieser Wert entspricht einem guten Backvolumen. Der Sorteneffekt war signifikant (2016: $p < 0,01$; 2017: $p < 0,001$; 2018: $p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test) innerhalb eines Jahres, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin. In 2016 und 2018 wurde jeweils der Standardbackversuch Rapid-Mix-Test verwendet. Dagegen wurde in 2017 der KBV verwendet. Für diesen Test besteht kein festgelegter Grenzwert des Backvolumens, daher ist in 78 b.) kein Grenzwert eingezeichnet.

N-Düngungseffekt

Im ersten und dritten Versuchsjahr unterlag die Kontrolle den gedüngten Varianten (**Abbildung 79 a, c, Tabelle 50**). In 2016 erreichte ausschließlich die Variante 7 den Zielwert von 660 ml/ 100 g Mehl. Jedoch konnte kein signifikanter Unterschied zu den Varianten 2 und 9 festgestellt werden. Insgesamt wies der Weizen in 2018, trotz höherer Proteingehalte, ein tendenziell niedrigeres RMT-Backvolumen, für die vergleichbaren Varianten 1, 2, 7 und 9, auf. Im Jahr 2018 erzielte lediglich die Nr. 5, die im Vergleich zu den anderen Varianten, eine späte dritte N-Gabe erhielt, ein Backvolumen über 660 ml/ 100 g Mehl. Allerdings zeigten sich keine statistisch abgesicherten Unterschiede gegenüber den Varianten 3 bis 6, die alle dieselben Düngemenge erhielten (Σ 200 kg N/ha). Für das Jahr 2017 ergaben sich insgesamt niedrigere Backvolumina aufgrund der Verwendung des Kastenbackversuchs (**Abbildung 79 b**). Zwischen den getesteten Varianten gab es keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 50: Mittelwerte der N-Düngungsvarianten für das Backvolumen des RMT (2016, 2018) und des KBV (2017) des Weizenmehls, Type 550, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016, 2017 und 2018

<i>N-Düngungsvariante</i>	2016	2017	2018
1	535 A	399 A	506 A
2	639 B	407 A	594 BC
3	-	393 A	642 DE
4	-	-	-
5	-	415 A	685 E
6	-	417 A	652 DE
7	671 B	416 A	613 BCD
8	-	-	-
9	644 B	407 A	628 CD
10	-	409 A	581 B

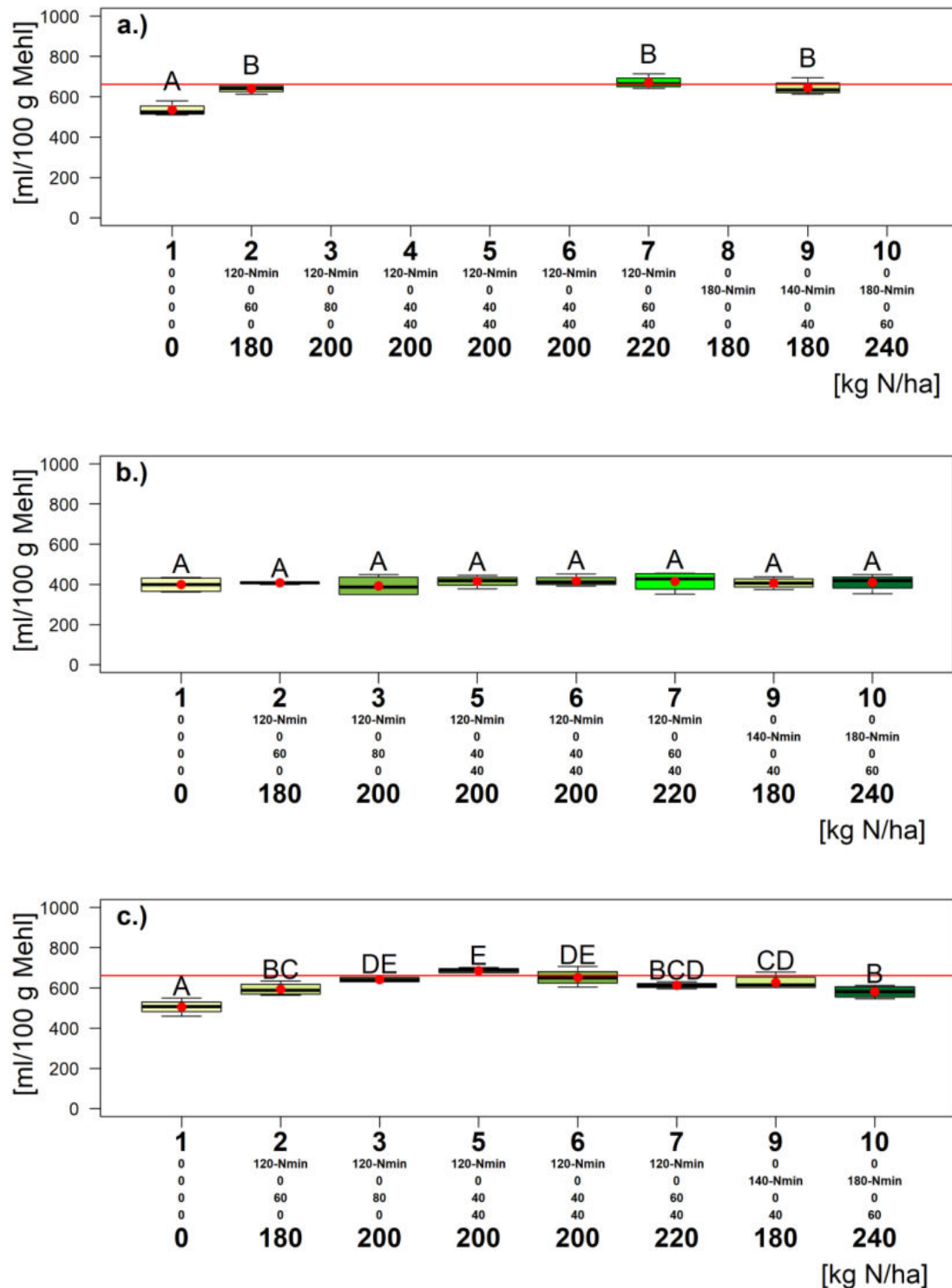
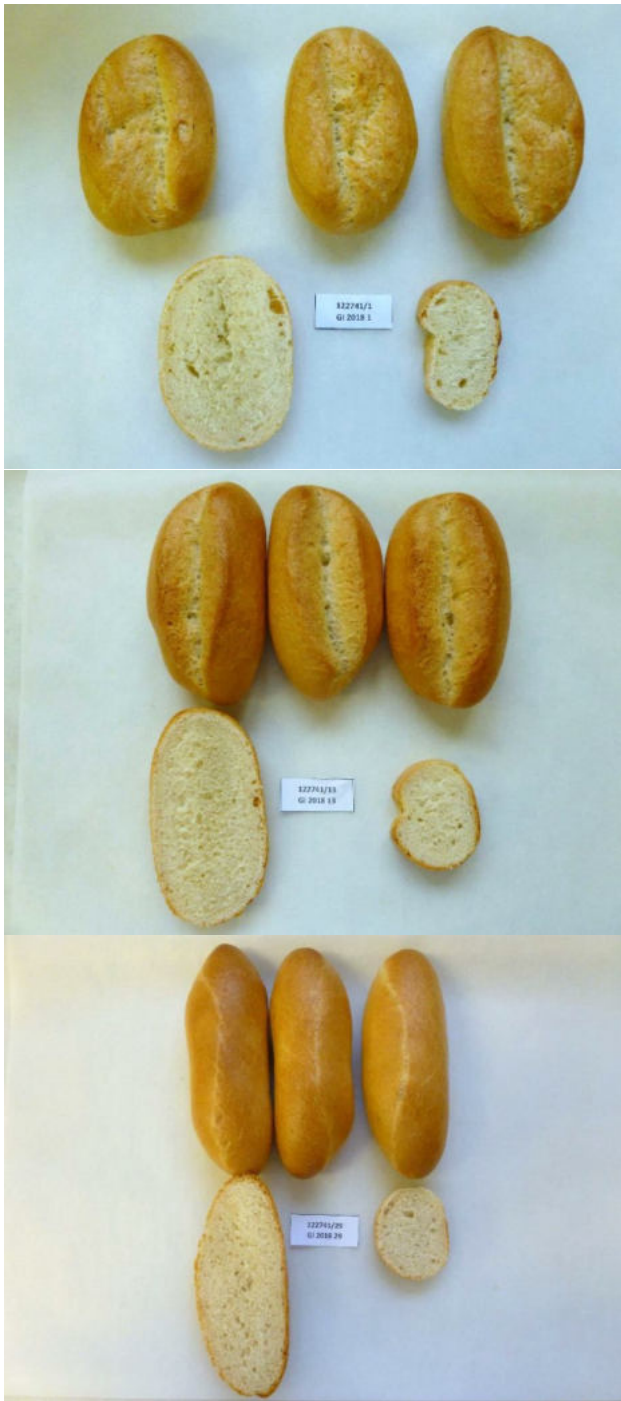


Abbildung 79 a-c): Einfluss der N-Düngung auf das RMT-Backvolumen des Weizens, Parzellenversuch Gießen für die Einzeljahre a.) 2016 (n=16), b.) 2017 (n=32) und c.) 2018 (n=32). Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 660 ml RMT-Brotvolumen/100 g Mehl, Type 550. Dieser Wert entspricht einem guten Backvolumen. Der N-Düngungseffekt war in 2016 und 2018 hoch signifikant (2016, 2018: $p < 0,001$) und in 2017 nicht signifikant. Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test) innerhalb eines Jahres, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin. In 2016 und 2018 wurde jeweils der Standardbackversuch Rapid-Mix-Test verwendet. Dagegen wurde in 2017 der KBV verwendet. Für diesen Test besteht kein festgelegter Grenzwert des Backvolumens, daher ist in Abbildung 79 b.) kein Grenzwert eingezeichnet.



Anhand der **Abbildung 80** am Beispiel der Sorte Akteur wurde nochmals verdeutlicht, dass die Variante 5 die höchsten Backvolumina erreichte. Das galt ebenso für die drei anderen getesteten Sorten. Dies ließ sich auch optisch an den Quer- und Längsschnitten der Brötchen erkennen. Die Variante 10 erzielte, trotz 40 kg N/ha mehr Stickstoff, ein niedrigeres Backvolumen (- 86 ml/100 g Mehl), verglichen mit Variante 5. Auch die Form, die Oberflächenbeschaffenheit, und die Porung entsprachen eher den Qualitätsanforderungen, als die der Kontrolle und der Variante 10. Weiterhin fehlte der Ausbund bei Variante 10.

Abbildung 80: Aufnahmen der RMT-Brötchen des N-Backweizen-Parzellenversuchs am Standort Gießen 2018. Dargestellt sind die Kontrolle = 510 ml (oben), sowie die Varianten fünf= 686 ml (Mitte) und zehn= 600 ml (unten) der Sorte Akteur (E).

Mithilfe der **Abbildung 81** konnte eindrücklich gezeigt werden, dass durch die niedrigeren Fallzahlen von Helmond (62 sec) (mittig) und JB Asano (62 sec) (rechts) die Gärstabilität negativ beeinflusst wurde. Außerdem wurde deutlich, dass durch den Abbau der Stärke zu kurzkettigen Kohlenhydraten bzw. Zuckern, während der vorzeitigen Keimung, die Bräunung über die Maße zunahm und als negativ zu bewerten war. Im Vergleich dazu erreichte Akteur eine Fallzahl von 98 Sekunden (links). Auch dieser Wert lag deutlich unter den Forderungen von mindestens 120 Sekunden. Jedoch wurde die Gärstabilität der Brote nicht beeinträchtigt.

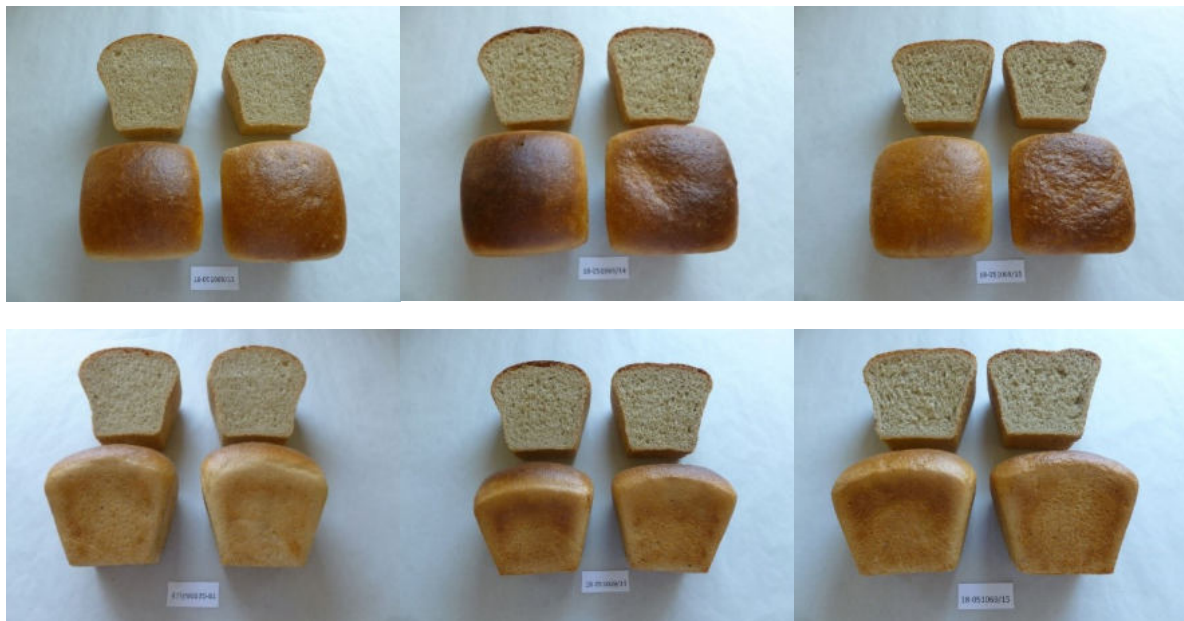


Abbildung 81: Brote des Kastenbackversuches (KBV) des N-Backweizen-Parzellenversuchs aus dem Jahr 2017 am Standort Gießen. In jedem Einzelbild wurden links die Brote unter normaler Gare (40 min) und rechts die Brote mit Übergare (48 min) dargestellt. Alle Brote gehörten zur Variante fünf (links oben und unten Akteur; mittig oben und unten Helmond; rechts oben und unten JB Asano) (IGV Foodtech 2018).

Rauischholzhausen

Die Daten des RMT konnten zweijährig ausgewertet werden. Anhand der statistischen Analyse zeigte sich, dass zum einen die Hauptfaktoren signifikante Unterschiede aufwiesen und zum anderen die Wechselwirkungen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung ebenfalls statistisch abgesicherte Unterschiede zeigten. Durch die Wechselwirkungen wurden die Effekte der Hauptfaktoren überdeckt. Zum wiederholten Mal konnte ein deutlicher Jahreseffekt, bezogen auf die Sorten und die Düngung, festgestellt werden (**Tabelle 51**).

Tabelle 51: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Volumenausbeute des Rapid-Mix-Tests (RMT) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2017 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
Jahr	< 0,001	***
Sorte	< 0,001	***
N-Düngung	< 0,001	***
Jahr x Sorte	0,026	*
Jahr x N-Düngung	0,011	*
Sorte x N-Düngung	0,582	n.s.

Jahr x Sorte

Im Versuchsjahr 2017 und 2018 erzielte Helmond die höchsten Backvolumina (619 ml; 670 ml/100 g Mehl) und hob sich damit signifikant von den anderen Sorten ab. In 2017 belegten Akteur (541 ml) und JB Asano (537 ml) den zweiten Platz, wobei es keinen signifikanten Unterschied zwischen JB Asano und RGT Reform (503 ml) gab. In 2018 bewegten sich die Sorten Akteur, JB Asano und RGT Reform auf einem Niveau. Eine generelle Überlegenheit der E-sorten war nicht feststellbar. Insgesamt waren die Backvolumina in 2018 signifikant höher als in 2017. Werden die Proteingehalte herangezogen, war zu erkennen, dass diese in 2017 kaum niedriger waren, als in 2018. Ausschließlich Helmond erzielte im Mittel in 2018 den Grenzwert von 660 ml/100g Mehl (**Abbildung 82**). Für 2018 erreichten die getesteten Sorten an beiden Standorte vergleichbare Backvolumina.

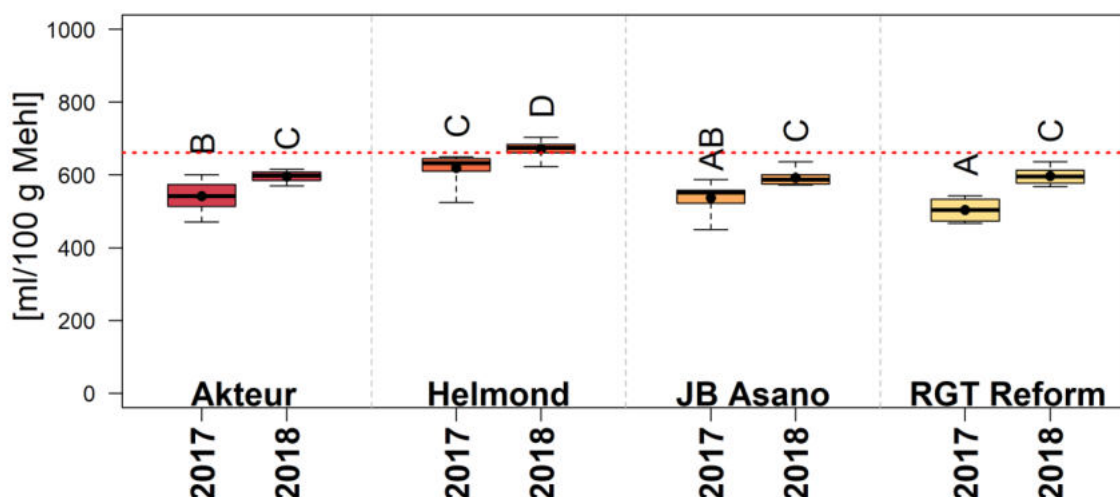


Abbildung 82: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für die Volumenausbeute des Rapid-Mix-Tests (RMT) des Weizens, Parzellenversuche Rauischholzhausen 2017 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 660 ml Brotvolumen/100 g Mehl, Type 550. Dieser Wert entspricht einem guten Backvolumen. Die Wechselwirkung Jahr x Sorte war signifikant ($p = 0,026$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Jahr x N-Düngung

In **Abbildung 83** wurde die Wechselwirkung zwischen Jahr und N-Düngung verbildlicht. In beiden Jahren wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten 2 und 9, die beide mit insgesamt 180 kg N/ha gedüngt wurden, vorgefunden. Auch zwischen den 200er Varianten 3, 5 und 6 konnten in beiden Jahren kein abgesicherter Unterschied festgestellt werden. Auch zwischen der Düngemenge 180 und 200 kg N/ha gab es keinen signifikanten Unterschied. Auch die Variante 10, mit der höchsten Düngung von 240 kg N/ha, zeigte in beiden Jahren keinen abgesicherten Effekt, zu den anderen Varianten. Innerhalb der Jahre waren die Unterschiede zwischen den N-Stufen marginal. In 2018 wurde eine signifikant höhere Volumenausbeute für die Varianten 1, 2, 3 und 9 erreicht.

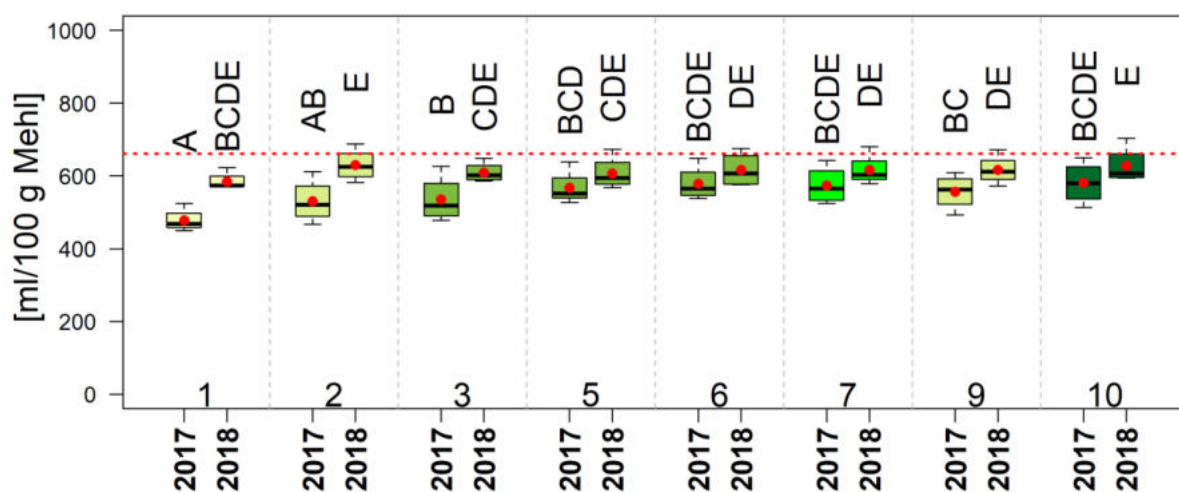


Abbildung 83: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für die Volumenausbeute des Rapid-Mix-Tests (RMT) des Weizens, Parzellenversuche Rauischholzhausen 2017 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamt-Düngemenge. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 660 ml Brotvolumen/100 g Mehl, Type 550. Dieser Wert entspricht einem guten Backvolumen. Die Wechselwirkung N-Düngung x Jahr war signifikant ($p = 0,011$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.2.9 Einfluss der Sorten und der N-Düngung auf den Optimierter Backtest nach Linnemann (OBT)

Gießen

Für die Volumenausbeute des Optimierten Backtests ergaben sich signifikante Unterschiede für die Haupteffekte und die Wechselwirkungen. Zum einen hatte die Jahreswitterung einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse, zum anderen reagierten die Sorten unterschiedlich auf die N-Düngungsvarianten (**Tabelle 52**).

Tabelle 52: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,0395	*

Jahreseffekt

Für den OBT konnten in den Jahren 2016 und 2018 vergleichbare Backvolumina erzielt werden (732; 737 ml/100 g Mehl). Im Jahr 2017 wurden signifikant geringere Volumenausbeuten erreicht (667 ml/100 g Mehl). Außerdem konnte in 2017 die größte Varianz der Werte beobachtet werden. Dabei musste die Auswuchsschädigung berücksichtigt werden. Nichtsdestotrotz wurde in allen Jahren, im Mittel, der Grenzwert von 660 ml Backvolumen erreicht.

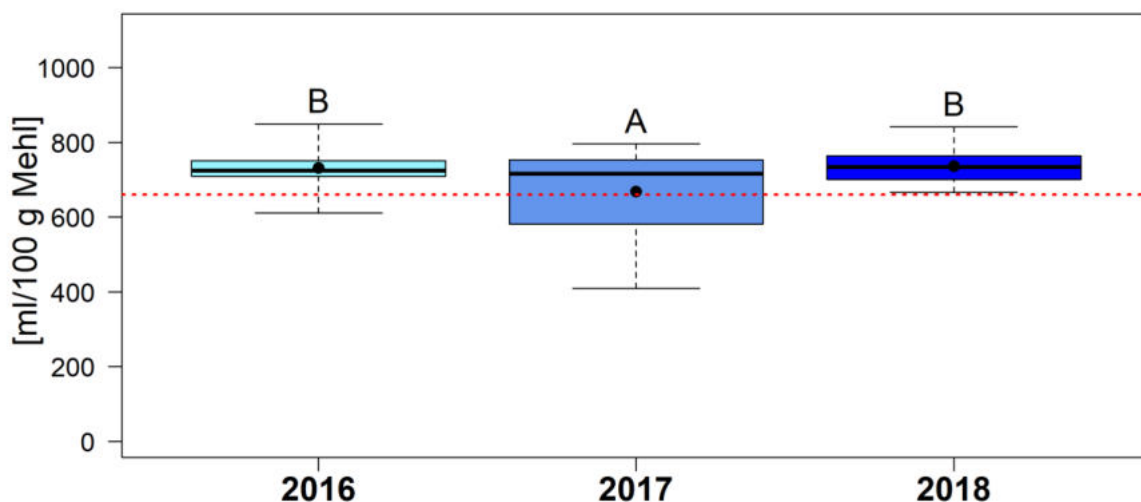


Abbildung 84: Einfluss des Versuchsjahrs für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 660 ml Brotvolumen/100 g Mehl, Type 550. Dieser Wert entspricht einem guten Backvolumen. Die Hauptwirkung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Sorte x N-Düngung

In der nachfolgenden **Abbildung 85** wurde die Interaktion zwischen der Weizensorte und der N-Düngung im Zeitraum 2016 bis 2018, am Standort Gießen, veranschaulicht. Es war deutlich zu erkennen, dass die gemittelten dreijährigen Ergebnisse für die E-Sorten Akteur, Helmond und die A-Sorte RGT Reform sehr ähnlich ausfielen. JB Asano wies hingegen deutlich niedrigere Backvolumina und größere Schwankungen innerhalb der Varianten auf. Die A-Sorte JB Asano erreichte ausschließlich mit Variante 9 den Grenzwert von 660 ml/ 100 g Mehl. Für alle Sorten konnte mit einer Stickstoff-Düngung von 180 kg N/ha und 240 kg N/ha vergleichbare Backvolumina, mithilfe des OBTs, erzielt werden.

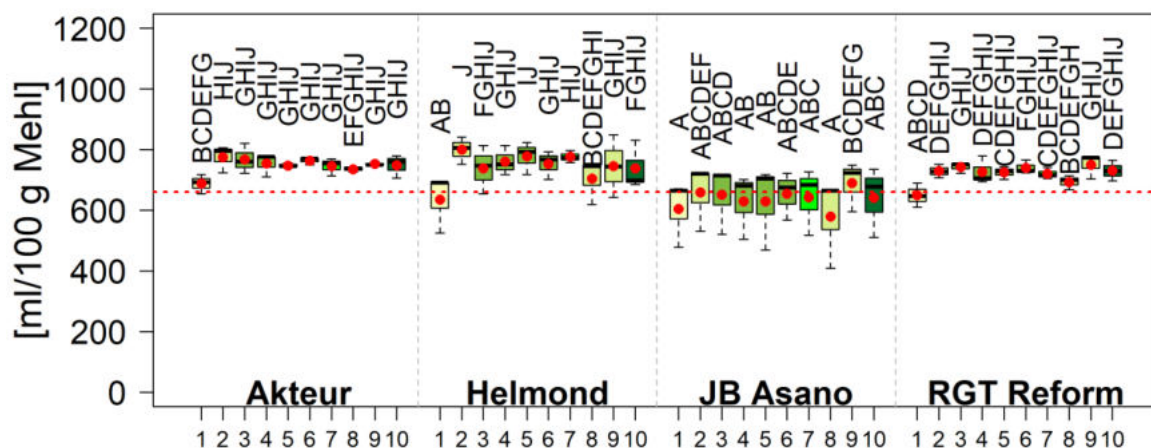


Abbildung 85: Wechselwirkungen zwischen der Sorte und der N-Düngung für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens, Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamt-Düngemenge. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 660 ml Brotvolumen/100 g Mehl, Type 550. Dieser Wert entspricht einem guten Backvolumen. Die Wechselwirkung zwischen Sorte x N-Düngung war signifikant ($p = 0,0395$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Rauischholzhausen

Anhand der statistischen Auswertung ergab sich, dass die Haupteffekte Jahr, Sorte und N-Düngung signifikante Effekte aufwiesen. Zusätzlich konnte ein signifikantes Ergebnis für die Wechselwirkungen zwischen Jahr und N-Düngung und Sorte und N-Düngung festgestellt werden (**Tabelle 53**).

Tabelle 53: Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauschholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	0,653	n.s.
<i>Jahr x N-Düngung</i>	0,007	**
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,796	n.s.

Sorteneffekt

Da keine Wechselwirkung zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte festzustellen war, ist davon auszugehen, dass die Sorten ein ähnliches Niveau in den drei Jahren erzielt haben und die Witterung sich nur im geringen Maße auf die Volumenausbeute auswirkte (**Abbildung 86**). Alle Mittelwerte lagen oberhalb des Grenzwertes von 660 ml/ 100 g Mehl. Helmond erreichte die höchste Volumeausbeute mit 778 ml und unterschied sich signifikant zu den anderen Weizensorten. Die weitere Reihenfolge gestaltete sich wie folgt: Akteur (755 ml), RGT Reform (713 ml) und JB Asano (687 ml). Diese Rangfolge konnte für den Standort Gießen bestätigt werden (**Tabelle 54**). Darüber hinaus war festzustellen, dass für die Sorten Akteur, Helmond und JB Asano ein etwas höheres Niveau am Standort RH erreichten. Die Sorte RGT Reform erzielte eine etwas höhere Volumenausbeute am Standort Gießen.

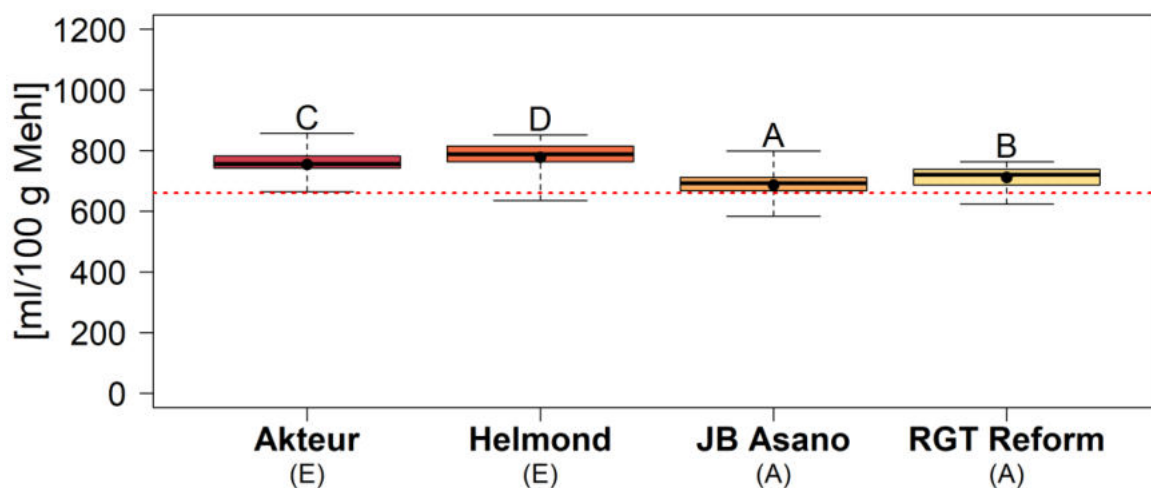


Abbildung 86: Einfluss der Sorte auf die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens. Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 660 ml Brotvolumen/100 g Mehl, Type 550. Dieser Wert entspricht einem guten Backvolumen. Der Sorten-Effekt war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Tabelle 54: Volumenausbeute des OBTs (ml/ 100 g Mehl, Type 550) im Mittel der Jahre (2016-2018) an den Standorten Gießen und Rauschholzhausen

Sorte	Gießen	Rauschholzhausen
Akteur	748	755
Helmond	743	778
JB Asano	638	687
RGT Reform	721	713

Jahr x N-Düngung

In **Abbildung 87** wurde die Interaktion zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung dargestellt. Im ersten Jahr erzielten die N-Varianten die absolut höchsten Volumina im Vergleich zu den folgenden Jahren. Es lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen den gedüngten Varianten und der Kontrolle im Jahr 2016 vor. Zwischen dem zweiten und dem dritten Versuchsjahr gab es nur geringe Unterschiede. Die Kontrollen schnitten allerdings deutlich niedriger als im ersten Jahr ab. In dem untersuchten Zeitraum waren keine auffälligen Unterschiede erkennbar.

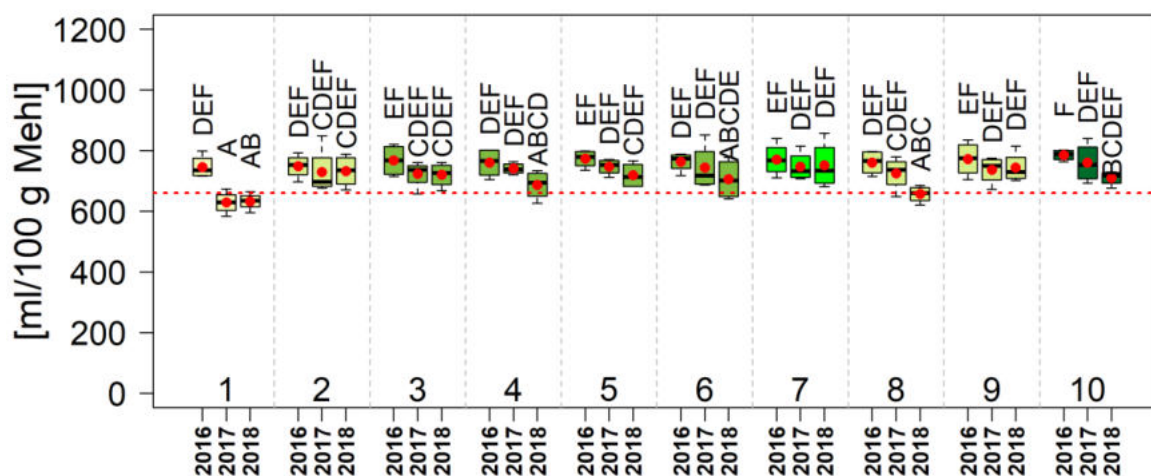


Abbildung 87: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) des Weizens, Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamt-Düngemenge. Die rote Linie liegt auf einem Niveau von 660 ml Brotvolumen/100 g Mehl, Type 550. Dieser Wert entspricht einem guten Backvolumen. Die Wechselwirkung N-Düngung x Jahr war signifikant ($p = 0,007$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.2.10 Einfluss der Sorten und N-Düngung auf die OBT-Volumenausbeute pro Prozentpunkt Mehl-Protein

Gießen

Es konnten signifikante Unterschiede für die Hauptfaktoren, sowie für die Wechselwirkungen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung festgestellt werden (**Tabelle 55**).

Tabelle 55: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Volumenausbeute des OBTs in ml pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

<i>Prüffaktoren</i>	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,177	n.s.

Jahr x Sorte

Absolut betrachtet, erreichte die A-Sorte RGT Reform in den drei Versuchsjahren die höchste Volumenausbeute pro Prozentpunkt Protein (76; 74; 66 ml VA/ % Protein), obwohl die Sorte in allen drei Jahren die niedrigsten Proteingehalte erzielte. Sie unterschied sich jedoch für die Volumenausbeute pro Prozentpunkt Mehl-Protein in 2017 und 2018 nicht signifikant von Akteur. Die Sorten Helmond und JB Asano konnten in 2016 mit Akteur gleichziehen. In 2017 und 2018 wiesen sie signifikant niedrigere Volumenausbeute pro Prozentpunkt Protein auf (**Abbildung 88**).

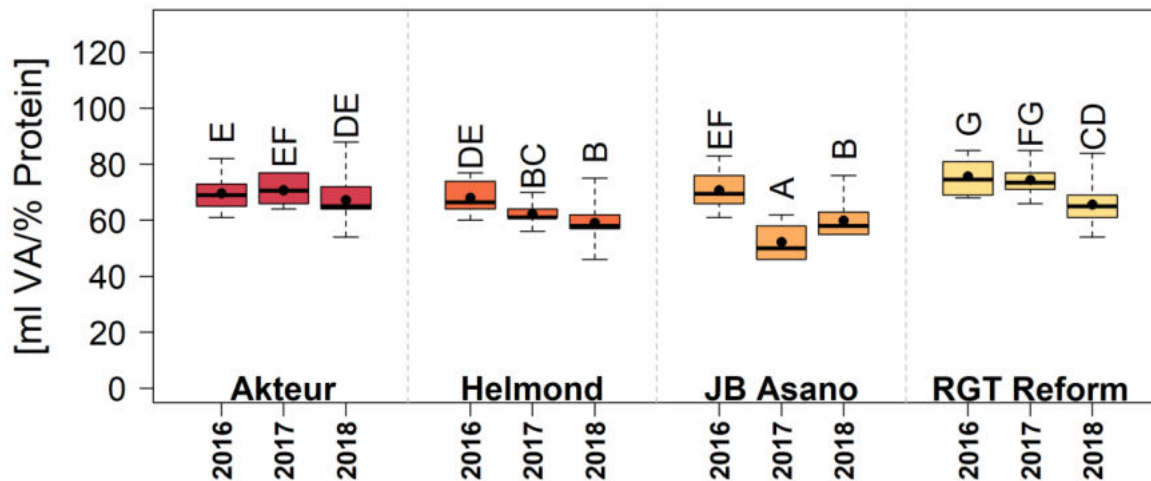


Abbildung 88: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550), Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Jahr x N-Düngung

Das höchste Niveau wurde in 2016 erzielt, gefolgt von 2017 und 2018. Die Rangfolge für die Proteinmenge verlief entgegengesetzt. In 2016 erzielten die Kontrolle, die Varianten 2, 8 und 9, die höchsten Backvolumina pro % Mehl-Protein. Die Varianten 2, 8 und 9 hatten in Summe 180 kg N/ha erhalten. Zwischen den Varianten, die insgesamt 200 kg N/ha erhielten, konnten signifikante Unterschiede verifiziert werden. Die Varianten 3, 5 und 6 waren der Variante 4 überlegen. Für Variante 7 (Σ 220 kg N/ha) konnte kein statistisch abgesicherter Effekt zu den Varianten 3, 5, 6 und 10 dokumentiert werden. Im zweiten Jahr fielen die Unterschiede für das Backvolumen je Prozentpunkt Protein geringer aus. Die Kontrolle erzielte den höchsten Wert (71 ml/% Mehl-Protein), unterschied sich aber nicht zu den Varianten 2, 6, 7, 8, und 9. Im Vergleich der Varianten, die in Summe 200 kg N/ha erhielten, konnte sich die Variante 6 (68 ml/% Mehl-Protein) signifikant von Variante 5 (60 ml/% Mehl-Protein) abheben. Die niedrigste Volumenausbeute pro Prozentpunkt Mehl-Protein erbrachte die Variante 10 (Σ 240 kg N/ha) (59 ml/% Mehl-Protein). Sie unterschied sich nicht signifikant zu den Varianten 3, 4, 5 und 7. In 2018 konnte die Kontrolle den signifikant höchsten Wert erzielen (81 ml/% Mehl-Protein). Die Varianten 2, 8 und 9 unterschieden sich nicht voneinander (68; 61; 61 ml/% Mehl-Protein). Zwischen den Varianten 3 bis 6 lagen keine Unterschiede vor. Zwischen den Düngemengen 200 und 220 kg N/ha bestand ebenfalls kein Unterschied. Die Variante 10 erreichte wiederholt den niedrigsten Wert (52 ml/% Mehl-Protein) und unterschied sich nicht signifikant zu 4 (60 ml) und 7 (59 ml) (**Abbildung 89**).

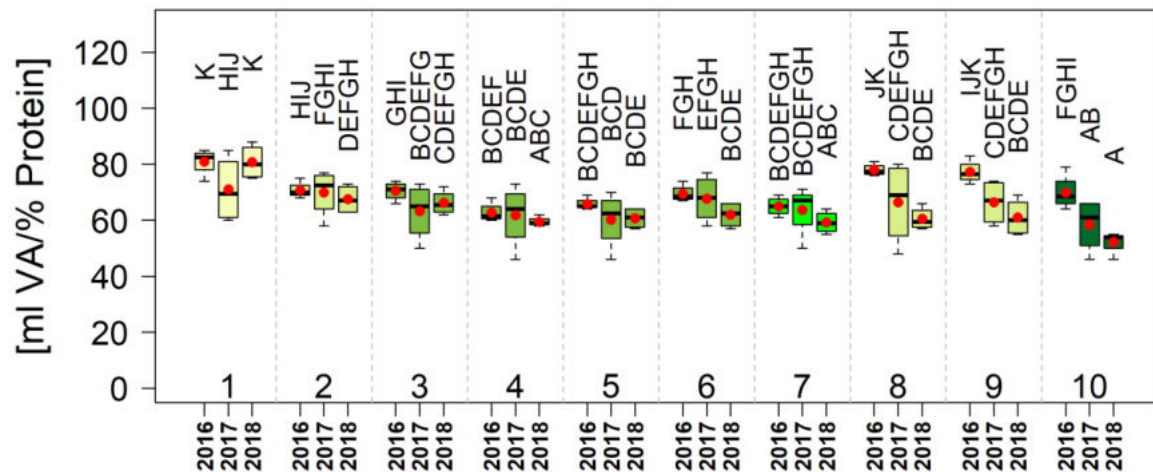


Abbildung 89: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550), Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamt-Düngemenge. Die Wechselwirkung zwischen Versuchsjahr x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Rauischholzhausen

Für den Prüffaktor Volumenausbeute des OBTs pro Prozentpunkt Mehl-Protein waren alle Haupteffekte und zusätzlich die Interaktionen zwischen Jahr x Sorte und Jahr x N-Düngung signifikant (**Tabelle 56**).

Tabelle 56: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Volumenausbeute des OBTs in ml pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550) des Weizens, Backweizen N-Düngungsversuch Rauischholzhausen 2016 bis 2018

Prüffaktoren	p-Wert	Signifikanz
<i>Jahr</i>	< 0,001	***
<i>Sorte</i>	< 0,001	***
<i>N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x Sorte</i>	< 0,001	***
<i>Jahr x N-Düngung</i>	< 0,001	***
<i>Sorte x N-Düngung</i>	0,360	n.s.

Jahr x Sorte

Gleichzeitig zeigte sich für den Standort Rauschholzhausen ein gegenläufige Trend im Vergleich zum Proteingehalt (vgl. **Abbildung 50**). Wie auch in Gießen erreichte die Sorte RGT-Reform in allen Jahren, bezogen auf den Proteingehalt, das höchste Backvolumen (70; 76; 62 ml/ % Mehl-Protein). Wobei es in 2018 keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier Sorten gab. Die Werte lagen zwischen 59 und 63 ml. In 2016 und 2017 konnten keine Unterschiede zwischen den Sorten Akteur, Helmond und JB Asano ermittelt werden

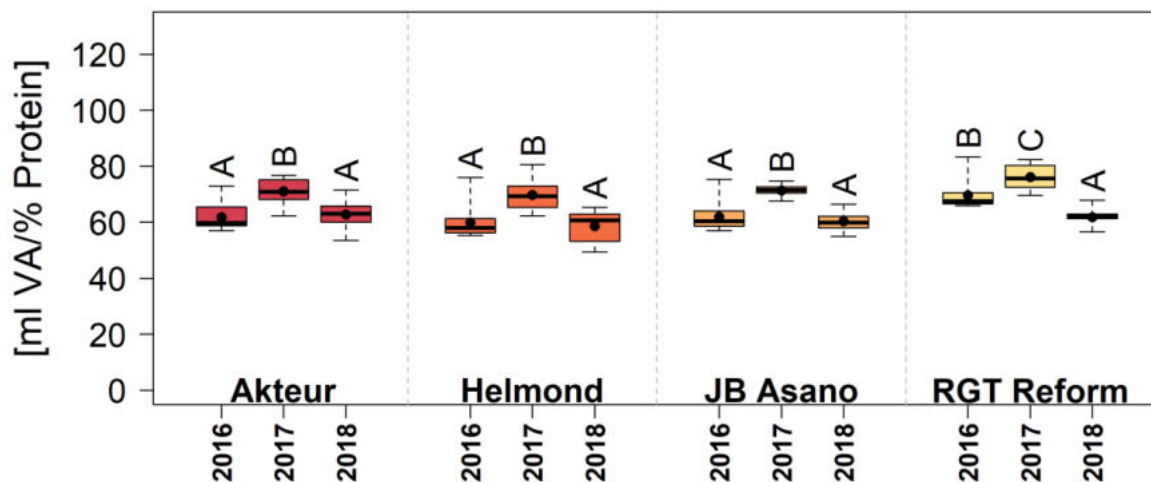


Abbildung 90: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der Sorte für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550). Parzellenversuche Rauschholzhausen 2016 bis 2018. Der schwarze Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Wechselwirkung Jahr x Sorte war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

Jahr x N-Düngung

Im ersten Jahr erreichte die Nullvariante signifikant den höchsten Wert mit 77 ml/% Mehl-Protein. Zwischen den gedüngten Varianten gab es keinen statistisch abzusichernden Effekt. Die Werte bewegen sich zwischen 60 und 66 ml. In 2017 konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrolle und den Varianten zwei, drei, fünf bis zehn festgestellt werden. Einzig allein die Variante vier war den Varianten zwei und sieben unterlegen. Im dritten Jahr waren die Unterschiede marginal. Die Variante zehn erzielte, absolut betrachtet, den geringsten Wert mit nur 54 ml. Sie wies allerdings keinen signifikanten Unterschied zu den N-Stufen eins, vier, fünf und acht auf. Bis auf Variante zehn lagen alle auf einem vergleichbaren Niveau von 58 bis 66 ml pro Prozentpunkt Mehl-Protein. Generell war festzuhalten, dass in 2017 die höchsten Werte erzielt wurden (**Abbildung 91**).

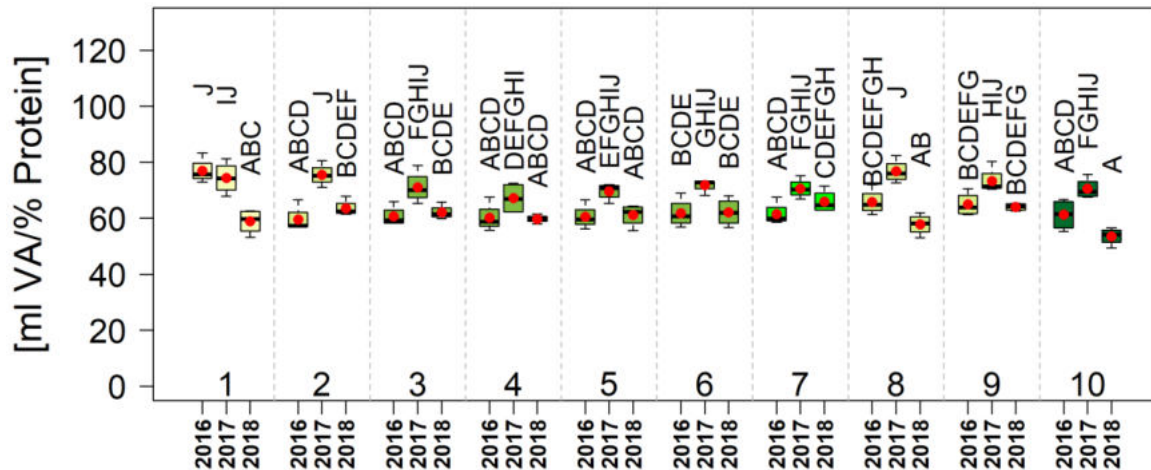


Abbildung 91: Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung für die Volumenausbeute des optimierten Backtests (OBT) pro Prozentpunkt Mehl-Protein (Type 550), Parzellenversuche Gießen 2016 bis 2018. Der rote Punkt stellt das arithmetische Mittel und die schwarze fette Linie den Median dar. Die Farben der Boxplots stehen für die Gesamt-Düngemenge. Die Wechselwirkung zwischen Versuchsjahr x N-Düngung war hoch signifikant ($p < 0,001$). Die unterschiedlichen Buchstaben weisen auf die signifikanten Differenzen zwischen den Mittelwerten (Tukey Test), bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$, hin.

4.3 Methodenvergleich

Alle Weizenproben, die im Zeitraum 2016 bis 2018, an den Standorten Gießen und Rauischholzhausen geerntet wurden bildeten die Datengrundlage für die Untersuchung der Parameter Proteingehalt, Feuchtklebergehalt und Sedimentationswert. Diese wurden zum einen mit der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) und zum anderen mit den standardisierten nasschemischen Methoden untersucht. Dieser Methodenvergleich wurde durchgeführt, um zu überprüfen, ob die Methoden vergleichbare Ergebnisse erzielen konnte.

4.3.1 Vergleich der Bestimmung des Proteingehalts im Korn

In **Abbildung 92** wurde der Methodenvergleich für die Bestimmung des Proteingehaltes im Korn dargestellt. Es konnte festgestellt werden, dass die Punktwolke sich verhältnismäßig eng um die Ausgleichsgerade bewegte. Weiterhin lag das Bestimmtheitsmaß bei 0,91, was auf einen sehr engen Zusammenhang der beiden Methoden hindeutete. Anhand dieser Proben wiesen die Methode eine sehr gute Vergleichbarkeit auf. Darüber hinaus waren die deutlich höheren Proteingehalte der E-Sorte festzustellen.

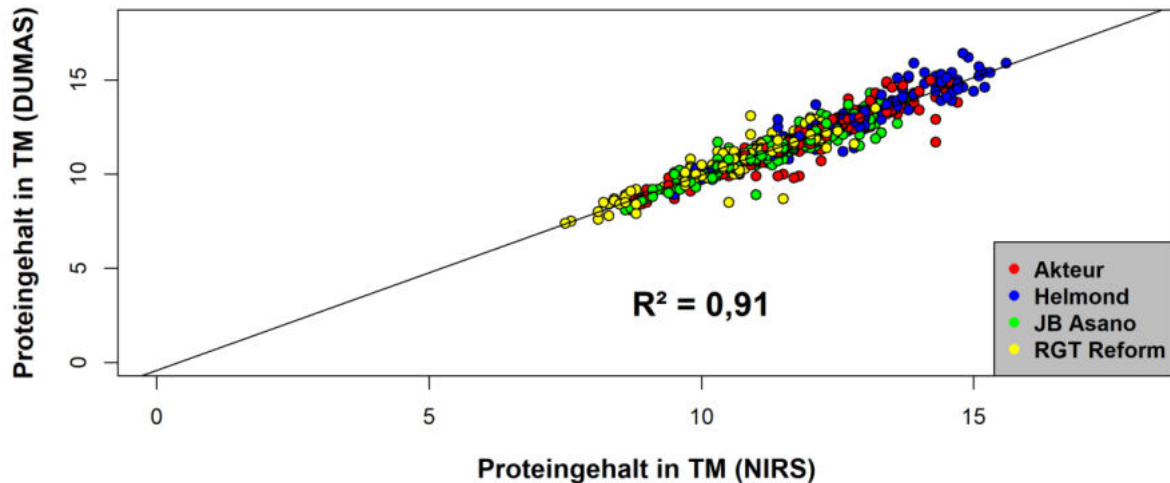


Abbildung 92: Korrelation zwischen dem Proteingehalt der durch die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) und nach der Methode von DUMAS bestimmt wurde. Als Basis wurden die Weizenproben der Parzellenversuche aus Gießen und Rauschholzhausen im Zeitraum 2016 bis 2018 verwendet ($n = 960$). Die unterschiedlichen Farben standen für die vier untersuchten Sorten. Das Bestimmtheitsmaß R^2 lag bei 0,91.

4.3.2 Vergleich der Bestimmung des Proteingehaltes im Mehl (Type 550)

In der nachfolgenden Abbildung ist die Korrelation für den Proteingehalt im Mehl, der mit zwei unterschiedlichen Methoden bestimmt wurde, dargestellt. Zum einen über die N-Verbrennungsmethode (DUMAS) und zum anderen mithilfe der Proteinfractionierung, in lösliche und unlösliche Proteinkomponenten (HPLC).

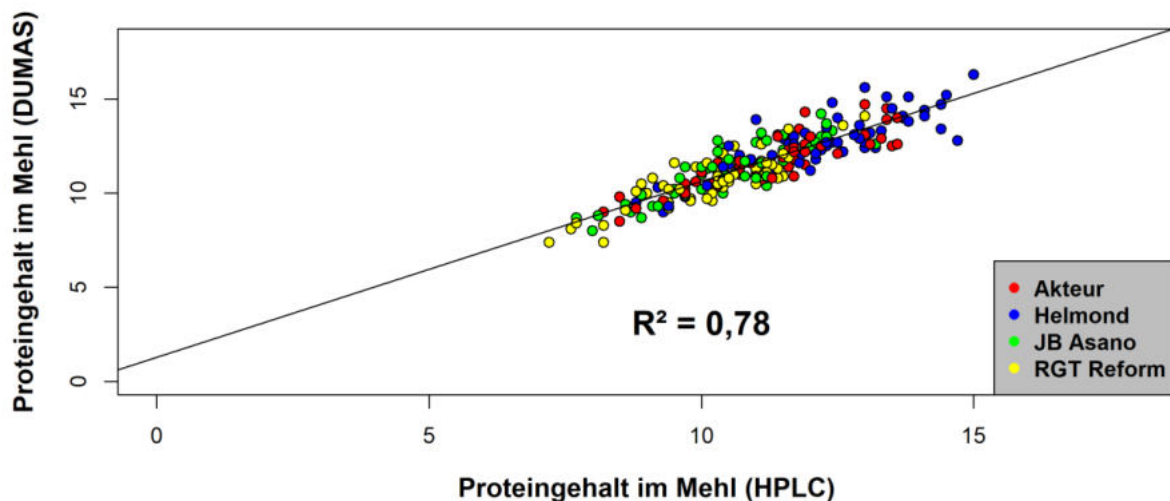


Abbildung 93: Korrelation zwischen dem Proteingehalt im Mehl nach der Methode von DUMAS und Proteingehalt im Mehl mittels HPLC Bestimmung. Als Basis wurden die Weizenproben der Parzellenversuche aus Gießen und Rauschholzhausen im Zeitraum 2016 bis 2018 verwendet ($n = 240$). Die unterschiedlichen Farben standen für die vier untersuchten Sorten. Das Bestimmtheitsmaß R^2 lag bei 0,78.

Der Zusammenhang war etwas weniger stark, wie für die Proteinbestimmung anhand des Kornes. Trotz allem befand sich der Zusammenhang für die Mehlproben in einem guten Bereich. Darüber hinaus sollte hier der Probenumfang beachtet werden, der nur ein Viertel der Kornproben umfasste (**Abbildung 93**).

4.3.3 Vergleich der Bestimmung des Feuchtklebergehalts im Korn

Für den Parameter Feuchtkleber- bzw. Glutengehalt wurde die ICC-STANDARD Methode Nr. 137/1 mit den Ergebnissen der NIRS verglichen. Im Vergleich zum Proteingehalt zeigte sich hier, dass die Beziehung etwas weniger stark war. Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,82 kann trotzdem von einer guten Korrelation gesprochen werden (**Abbildung 94**). Für den Glutengehalt ist das Ergebnis von besonderer Relevanz, da die nasschemische Analyse sehr zeitaufwendig ist und es leicht zu Messungenauigkeiten kommen kann.

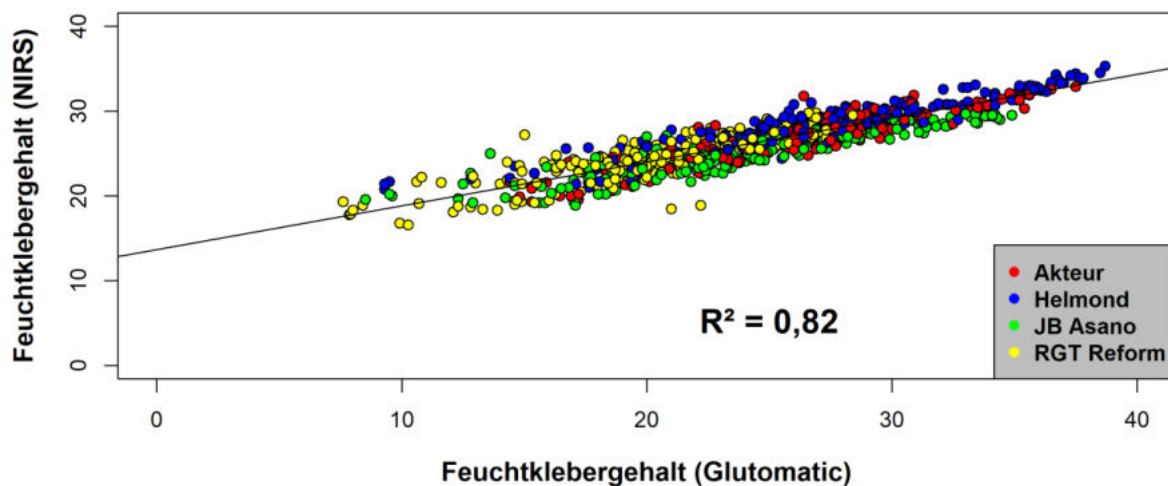


Abbildung 94: Korrelation zwischen dem Feuchtklebergehalt, der mit der Glutomatic und den Feuchtklebergehalt, der durch die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) bestimmt wurde. Als Datengrundlage wurden die Weizenproben der Parzellenversuche aus Gießen und Rauschholzhausen im Zeitraum 2016 bis 2018 verwendet (n= 960). Die unterschiedlichen Farben standen für die vier untersuchten Sorten. Das Bestimmtheitsmaß R^2 lag bei 0,82.

4.3.4 Vergleich der Bestimmung des Sedimentationstests

Der Methodenvergleich für den Sedimentationswert ergab eine sehr geringe Vergleichbarkeit mit einem R^2 von 0,29. Die Punktwolke streute stark um die Ausgleichsgerade. Für diesen Parameter konnte festgestellt werden, dass die NIRS-Analytik die nasschemische Analyse nicht zuverlässig ersetzte (**Abbildung 95**).

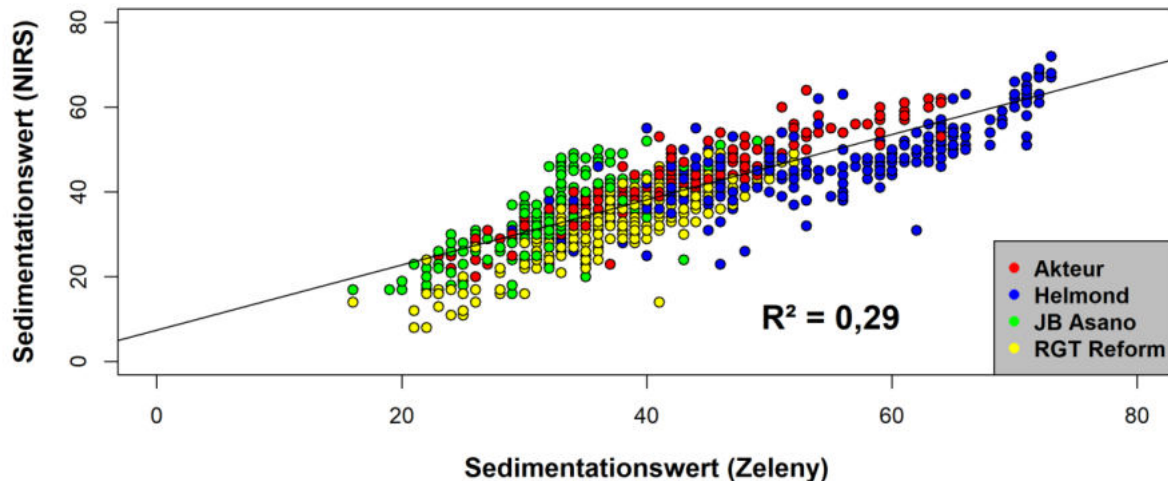


Abbildung 95: Korrelation zwischen dem Sedimentationswert, der nach der Methode von Zeleny und den Feuchtklebergehalt, der durch die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) bestimmt wurde. Als Datengrundlage wurden die Weizenproben der Parzellenversuche aus Gießen und Rauschholzhausen im Zeitraum 2016 bis 2018 verwendet ($n=960$). Die unterschiedlichen Farben standen für die vier untersuchten Sorten. Das Bestimmtheitsmaß R^2 lag bei 0,29.

4.3.5 Korrelationen

In der nachfolgenden Tabelle wurden relevante Korrelationen berechnet und deren Bestimmtheitsmaß angegeben. Die Beziehung zwischen Proteingehalt und Sedimentationswert lag auf einem hohen Niveau von $R^2 = 0,66-0,68$. Einen noch engeren Zusammenhang wiesen der Protein- und der Feuchtklebergehalt auf ($R^2 = 0,82-0,87$). Dies wies daraufhin, dass der Glutengehalt relativ linear mit dem Proteingehalt anstieg. Wohingegen der Proteingehalt und das Backvolumen des Optimierten Backtests eine sehr schwache Beziehung aufzeigten ($R^2 = 0,27$). Weiterhin konnte auch für das GMP und den OBT keine engere Beziehung festgestellt werden ($R^2 = 0,25$). Ebenfalls zeigten der Protein- und GMP-Gehalt keinen engen Zusammenhang auf ($R^2 = 0,22$).

Tabelle 57: Ergebnisse der Korrelationsberechnungen zwischen verschiedenen Weizen-Qualitätsparametern auf Basis der N-Backweizenversuche an den Standorten Gießen und Rauschholzhausen (2016 bis 2018)

Korrelationen	Bestimmtheitsmaß (R²)
Proteingehalt NIRS (%) und Sedimentationswert (ml)	0,66
Proteingehalt DUMAS (%) und Sedimentationswert (ml)	0,68
Proteingehalt NIRS (%) und Feuchtklebergehalt Glutomatic (%)	0,87
Proteingehalt DUMAS (%) und Feuchtklebergehalt Glutomatic (%)	0,82
Proteingehalt DUMAS im Mehl (%) und OBT-Backvolumen (ml/100 g Mehl)	0,27
Proteingehalt DUMAS im Mehl (%) und RMT-Backvolumen (ml/100 g Mehl)	0,54*
Proteingehalt DUMAS im Mehl (%) und GMP (%)	0,22
GMP (%) und OBT-Backvolumen (ml/100 g Mehl)	0,27
GMP (%) und RMT-Backvolumen (ml/100 g Mehl)	0,15*
Sedimentationswert (ml) und Feuchtklebergehalt Glutomatic (%)	0,41

*Datengrundlagen bilden die Einzelproben, die für den RMT Backtest verwendet wurden. Das Jahr 2017 am Standort GI entfiel aufgrund von Auswuchs und ungenügender Backeigenschaften. Im Jahr 2016 wurden keine Proben aus RH untersucht. Bei den untersuchten Proben handelte sich stets um die Varianten eins bis drei, fünf bis sieben, sowie neun und zehn. Nur im Jahr 2016 wurde ein Probenet aus GI verbacken, welches die Varianten eins, zwei, sieben und neun beinhaltete.

5 Diskussion

Wie wirken sich das variierende N-Management (N-Menge, -Form und Düngungstermin) und die unterschiedlichen Sorten auf den Ertrag, die N-Entzüge und die Vegetationsindices des Weizens aus?

5.1 Kornertrag

Jedes Anbaujahr weist charakteristische Eigenheiten auf, die von der Witterung geprägt werden, wie z.B. trockene Sommermonate oder eine niederschlagsreiche Ernteperiode. Diese Besonderheiten wirken sich natürlich auf den Ertrag und die Qualität aus. Besonders der Kornertrag, aber auch der Proteingehalt, werden erheblich von Umwelteinflüssen bestimmt und weisen teils beträchtliche Schwankungen auf (Laidig et al. 2017). Daher gilt es die nachfolgenden Fragenstellungen zu beantworten.

Das wichtigste Kriterium für jeden Landwirt ist letztendlich die erreichte Erntemenge, der Kornertrag. In den durchgeführten Untersuchungen war u. a. zu klären, ob das standortübliche Ertragsniveau bei geringerer N-Düngung (- 20, - 40, - 60 kg N/ha) erreicht werden konnte. In den Versuchsjahren lag der Ertragsdurchschnitt in Gießen (GI) bei 82,4; 74,9; 76,9 dt/ha und in Rauischholzhausen (RH) bei 86,3; 101,8; 65,9 dt/ha. Im Vergleich dazu wurden in den Jahren 2016 bis 2018 im Bundesdurchschnitt folgende Hektarerträge gemessen: 76,8; 77,0; 67,4 dt/ha (BMEL 2016, 2017, 2018). Im hessischen Durchschnitt wurden Weizenerträge von 72,9; 74,6; 69,2 dt/ha erreicht (Hessisches Statistisches Landesamt 2017, 2018, 2019). Das landesspezifische Ertragsniveau konnte in fast allen Fällen übertroffen werden. Nur am Standort RH wurden im Trockenjahr 2018 der Bundes- und Landesdurchschnitt knapp verfehlt. Dies war nicht eindeutig auf die Düngung zurückzuführen, sondern vielmehr auf die Witterung, insbesondere auf den fehlenden Niederschlag in den Monaten Mai und Juni. Betrachtete man den Durchschnittsertrag für den Landkreis Marburg-Biedenkopf lag dieser auf einer Höhe von 67,7 dt/ha (Hessisches Statistisches Landesamt 2019).

Wird ausschließlich der Kornertrag betrachtet und die Qualität vorerst ausgeklammert, gab es an beiden Standorten ein potenzielles N-Einsparpotential, im Vergleich zur höchsten Düngungsstufe (Nr. 10). In GI konnte in den drei Versuchsjahren keine signifikante Ertragssteigerung zwischen den Düngemengen 180 (gesplittet) und 240 kg N/ha festgestellt werden. Für RH konnte dieser Trend bestätigt werden. Auch an diesem Standort gab es in den ersten beiden Versuchsjahren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten.

In der Studie von Sieling et al. (2007) wurde gezeigt, dass zwischen den N-Düngermengen von 160 bis 200 kg N/ha keine gesicherten Ertragsunterschiede bestanden. Ein ähnliches Ergebnis fanden Sugár et al. (2016), die beim Weizen zwischen 160 und 240 kg N/ha keine weitere Ertragssteigerung beobachteten.

Im N-Düngungs-Versuch in RH im Jahr 2018 wiesen ausschließlich die Varianten Nr. 5 und 8 vergleichbare Kornerträge zur Variante Nr. 10 (Σ 240 kg N/ha) auf. Für dieses Resultat war die Witterung entscheidend durch die Trockenheit konnte der N-Dünger durch den Weizen nur zum Teil aufgenommen werden. Die Varianten Nr. 8 und 10 erhielten die gleichen N-Mengen zur ersten Gabe (180 kg N/ha minus N_{\min}). Aufgrund der ausgebliebenen Niederschläge konnte die zweite N-Gabe in der Variante 10 vermutlich nicht oder nur geringfügig aufgenommen werden. Ein weiterer Vorteil konnte in der Düngeform und der Applikationstechnik gesehen werden. Mithilfe der CULTAN-Düngung wurde der flüssigen N-Dünger nahe den Wurzeln platziert, was zu einer besseren N-Aufnahme und zu geringeren N-Verlusten geführt haben könnte. Diese

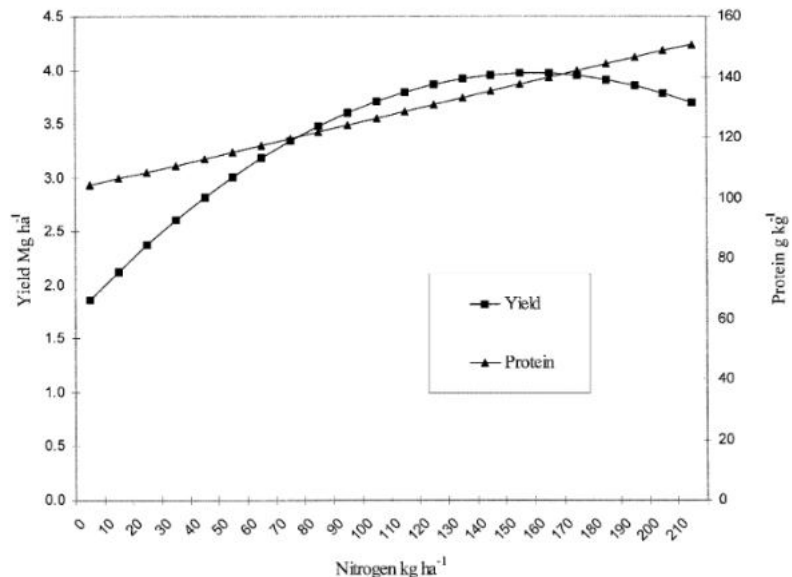


Abbildung 96: Kornertrag und Proteingehalt von Weizen in Abhängigkeit von der N-Düngung nach Baker et al. 2004

Herangehensweise könnte eine sinnvolle Alternative in Gebieten mit ausgeprägter Fröhsommer-Trockenheit, wie z.B. Südhessen, darstellen. Zu diesem Sachverhalt sollten jedoch weiterführende Versuche durchgeführt werden. Baker et al. 2004 stellten fest, dass das agronomische N-Optimum des Weizens bei ca. 160 kg N/ha lag. Dieser Befund konnte mit den vorliegenden Versuchsergebnissen überwiegend bestätigt werden. Abschließend ist festzuhalten, dass unter diesen standortüblichen Bedingungen vergleichbare Erträge, mit deutlich weniger Stickstoff, erzielt werden konnten. Für die Ertragssicherung kann Stickstoff eingespart werden, sodass das Risiko der Nitratauswaschung in das Grundwasser reduziert werden kann. Trotz alledem reagierten die Weizenbestände an den ausgewählten Standorten teilweise unterschiedlich im Ertragsniveau. Für die Variation der Kornerträge des Weizens waren höchstwahrscheinlich verschiedene Faktoren verantwortlich. Hier sind die Bodenunterschiede, die Witterung und die Vorfruchtwirkung anzuführen. Böden wie in RH (Lößlehm) weisen günstigere Bedingungen für das Pflanzenwachstum, wie z.B. eine höhere nutzbare Feldkapazität, im Vergleich zu tonreicheren Böden (GI), auf Amelung et al. (2018). Jedoch konnte am Standort RH, trotz höherer Bodengüte, keine kontinuierliche Ertragsüberlegenheit beobachtet werden (2016: + 4 dt/ha; 2017: + 27 dt/ha; 2018: - 11 dt/ha). Im Juni 2017 kam es in GI zu einem starken Hagelereignis, was sich erheblich auf den Kornertrag niederschlug. Aufgrund dessen ergab sich der beachtliche Ertragsunterschied von 27 dt/ha zwischen den Standorten. Im Jahr 2018 war der mittlere Weizenertrag in RH sogar um - 11 dt/ha niedriger als in

GI, was u. a. auf ca. 100 mm geringere Niederschläge in den Monaten Mai bis Juni in RH zurückgeführt wird.

Des Weiteren sollte bei der Bewertung der Ertragsunterschiede auch die Vorfrucht berücksichtigt werden (GI: Winterraps; RH: Silo-Mais). Der Weizen-Versuch in GI war mit der Vorfrucht Winterraps günstiger gestellt als in RH mit der Vorfrucht Silo-Mais. Der Raps hinterlässt grundsätzlich stickstoffreiche Erntereste, die relativ schnell umsetzbar sind. Durch die intensive und tiefgründige Durchwurzelung des Rapses konnte eine bessere Bodenstruktur bereitgestellt werden. Im Jahr 1996 beobachteten Chan und Heenan 1996 einen infiltrationsfähigeren Boden und eine geringere Scherfestigkeit nach Raps und nach Lupine. Im Vergleich dazu wird beim Silo-Mais nahezu die komplette oberirdische Biomasse geerntet, sodass nur wenig Erntereste verbleiben. Weiterhin nimmt der Infektionsdruck mit *Fusarium* durch eine Mais-Vorfrucht zu. Durch das komplexe Zusammenspiel aus Witterung, Boden und Vorfrucht, näherte sich die Ertragsleistung der Standorte an.

Neben den unterschiedlichen N-Aufwandmengen wurden auch verschiedene N-Formen getestet. Es konnte festgestellt werden, dass zwischen den Varianten 2, 8 und 9, die in der Summe jeweils 180 kg N/ha erhielten und sich in der Düngeform bzw. im Applikationsverfahren (KAS zu CULTAN-Verfahren) unterschieden, über die drei Jahre an beiden Standorten keine nennenswerten Ertragsunterschiede gemessen werden konnten. Anhand der Untersuchungen von Weimar (2001) konnte gezeigt werden, dass mit der CULTAN-Düngung mindestens gleichwertige Kornerträge beim Weizen erzielt werden können. Ähnliche Ergebnisse wurden von Schulz et al. (2015) in vierjährigen Weizenversuchen auf Parabraunerde-Standorten erzielt. Die Autoren verglichen verschiedene N-Dünger und variierte die Anzahl an Applikationen. Getestet wurden KAS, Harnstoff und Ammoniumnitrat-Harnstofflösung (CULTAN-Depot-Düngung), jeweils in einer Einfachgabe in Höhe von 180 bis 260 kg N/ha. Zusätzlich wurden die KAS-Varianten in zwei bzw. drei Gaben aufgeteilt. Es konnten keine Unterschiede für den Kornertrag, zwischen den unterschiedlichen Düngemengen und der Düngeformen, festgestellt werden. Dieser Befund deckt sich größtenteils mit den eigenen N-Düngungs-Versuchen in GI und RH. Auch Sommer (2000) stellte fest, dass es keine Unterschiede, zwischen einer einmaligen und einer gesplitteten Applikation des Stickstoffs gab. Einzig im Ausnahmejahr 2018 konnte die Variante 8 (Einmalgabe) in RH einen signifikant höheren Ertrag, als Variante 9 (gesplittete Gabe), erzielen. Das Resultat ist auf die höhere Startgabe (180 kg N/ha minus N_{min}) von Nr. 8 im Vergleich zu Nr. 9 (140 kg N/ha minus N_{min}) zurückzuführen. Der Weizenbestand war in der Lage, die höhere N-Düngung zu diesem frühen Zeitpunkt in einen signifikant höheren Kornertrag umzuwandeln. Aufgrund der Trockenheit konnten die weiteren N-Gaben nicht ihre Wirkung entfalten. Hier stellt sich die Frage welches N-Düngemanagement, in trockenen Jahren, favorisiert werden sollte. In RH war die frühe, sehr hohe Gabe von Vorteil. In GI konnte dies jedoch nicht bestätigt werden.

Darüber hinaus wurde die Ertragswirkung, unter Verwendung unterschiedlicher N-Düngungstermine, untersucht. Die Varianten 3 bis 6 erhielten die identische N-Düngemenge von 200 kg N/ha, wobei die Zeitpunkte der zweiten und dritten N-Gabe

variieren, bzw. bei Variante 3 die dritte N-Gabe ausblieb. Ertraglich konnten keine Unterschiede in GI und für RH in 2016 und 2017 dokumentiert werden. Aus den Untersuchungen von Alcoz et al. (1993) wurde geschlossen, dass die N-Menge und der Applikationszeitpunkt den Ertrag weniger beeinflussen, als der Jahreseffekt. Im Trockenjahr 2018 erzielte der Weizen in Variante 4 einen signifikant niedrigeren Kornertrag als in den Varianten 3 und 5. Obwohl Variante 4 eine frühe zweite Gabe erhielt und diese theoretisch durch die verbliebene Feuchtigkeit im Boden besser hätte ausgenutzt werden können. Insgesamt zeigte der Weizen in GI eine größere Varianz der Kornerträge als der Weizen in RH.

In den durchgeführten N-Düngungsversuchen wurden Weizensorten der Qualitätsgruppen E und A berücksichtigt, deren Erträge miteinander verglichen wurden. Es wurde festgestellt, dass die Sorten beider Qualitätsgruppen auf dem jeweiligen Ertragsniveau vergleichbar auf die unterschiedlichen Stickstoffdüngungsvarianten reagierten. Grundlage für diese Aussage ist die Tatsache, dass es keine Wechselwirkung zwischen den Sorten und der N-Düngung gab. Erwartungsgemäß erzielten die A-Sorten, an beiden Standorten und in jedem Versuchsjahr, höhere Kornerträge als die E-Sorten. Dieser Sachverhalt ließ sich aufgrund der bereits gut untersuchten negativen Korrelation zwischen Kornertrag und Proteingehalt erklären (Laidig et al. (2017); Sherman et al. (2014); Oury und Godin (2007); Fossati und Brabant (2003); Simmonds (1995)). Die geringsten Ertragsschwankungen wiesen die Sorten RGT Reform und Helmond auf, was u.a. auf eine gute Pflanzen-Gesundheit schließen ließ. Dies bekräftigen auch die Einstufungen der Kornerträge in Stufe eins und zwei in der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes. Die Sorten RGT Reform und Helmond erreichen in Stufe eins, ohne nennenswerten Pflanzenschutz, die gleiche Einstufung wie in Stufe zwei, für die der voller PSM-Aufwand verwendet wird (Bundessortenamt 2018). Auch in den eigenen Versuchen zeigten die beiden Sorten die geringste Anfälligkeit gegenüber pilzlichen Erregern. An beiden Standorten erzielte RGT Reform die höchsten und Helmond die niedrigsten Erträge. Dieses Ergebnis ließ sich anhand der Boniturnoten des Bundessortenamtes belegen (Helmond: 2; RGT Reform: 7) (Bundessortenamt 2018).

Aufgrund von Witterungsunterschieden konnte im Erntejahr 2017 über alle Sorten ein erheblich erhöhter Durchschnittsertrag in RH festgestellt werden (RH: ca. 102 dt/ha; GI: ca. 75 dt/ha). Der Bestand in RH konnte von dem ausreichenden Niederschlag während der Vegetationszeit sehr profitieren. Wohingegen in Gießen Gewitter und dessen Begleiterscheinungen wie Sturm und Hagel den Bestand vorzeitig schädigten und feuchte Bedingungen vor und während der Ernte zu sichtbarem Auswuchs führten. Demgegenüber konnte im dritten Versuchsjahr in Gießen ein höherer Durchschnittsertrag erzielt werden (GI: ca. 77 dt/ha; RH: ca. 66 dt/ha). Das ließ sich auf eine höhere Niederschlagsmenge im Mai und Juni 2018 zurückführen. Das Temperaturoptimum nach der Blüte liegt für Weizen bei 15°C (Chowdhury und Wardlaw 1978). Diese Temperatur wurde ab der zweiten Maidekade bereits dauerhaft überschritten. Zusätzlich sind die Tageshöchstwerte zu beachten. Die Blüte fand

Anfang Juni statt. Im weiteren Verlauf stiegen die Durchschnittstemperaturen bis zur Ernte Ende Juli auf durchschnittlich ca. 21°C an und bewegten sich deutlich über dem Optimum (**Abbildung 16**). Die Kombination aus Trocken- und Hitzestress wirkten sich negativ auf den Kornertrag aus. Auch Ertragskomponenten, wie die TKM konnten den abiotischen Stress in Form eines niedrigen Wertes abbilden. Die Untersuchungen von Kücke (2001) zeigten, dass durch Trockenheit während der Kornfüllungsphase und die damit verbundene verfrühte Abreife die TKM des Weizens reduziert werden kann.

Für den Parameter Ähren pro m² reagierten die Pflanzen in GI positiver auf eine erhöhte zweite Gabe (Nr. 2, 3, 7), als in RH. Weiterhin fiel auf, dass die CULTAN-Varianten (Nr. 8 bis 10) tendenziell dünnere Pflanzen-Bestände aufwiesen als die Vergleichs-Varianten. Dieser Effekt wird auf die zeitlich verzögerte erste N-Gabe zurückgeführt. Laut Sommer und Six (1981) werden durch die zeitliche Verzögerung die Phytohormone, Gibberelline und Auxine, die zur Sprossbildung benötigt werden, verstärkt reduziert. Im Gegensatz dazu werden die Cytokinine, die zur Wurzelentwicklung benötigt werden, weniger stark gehemmt. Aufgrund dessen wird mehr in die Entwicklung der Wurzeln investiert. Oft kann dadurch auch eine geringere Pflanzenlänge beobachtet werden. Dieser Effekt konnte am Standort GI ebenfalls beobachtet werden. Im Unterschied zu den CULTAN-Varianten hatten die KAS-Varianten daher einen zeitlichen Vorsprung. Ertraglich macht sich das aber kaum bemerkbar. In RH war kein Unterschied zwischen KAS- und CULTAN-Varianten für die Ährendichte zu beobachten. An beiden Standorten waren nur marginale Unterschiede zwischen den Sorten bezüglich der Ährenzahl/m² zu erkennen. Es konnte eine entgegengesetzte Entwicklung zwischen dem Kornertrag und der Ährendichte, an beiden Standorten, beobachtet werden. Vergleich man zu diesem Zweck die Einzeljahre fiel auf, dass mit steigender Ährenanzahl ein geringer Kornertrag erzielt wurde. Je weniger Ähren im Bestand gebildet wurden, desto schwerer waren die Einzelähren und folglich deren Körner.

Die Sorten am Standort Gießen reagierte in Bezug auf die Tausendkornmasse (TKM) zum einen positiv auf eine späte dritte Gabe (Nr. 4, 5) und zum anderen auf eine erhöhte dritte Gabe (Nr. 10). Beides führte höchstwahrscheinlich zu einer verbesserten Einlagerung von Reservestoffen (Stärke) während der Kornfüllungsphase. In RH konnte jedoch diese Beobachtung nicht gemacht werden. An beiden Standorten wurde festgestellt, dass die TKM der Sorten in der nichtgedüngten Kontrolle tendenziell höher war als in den mit N gedüngten Varianten. Dieser Effekt wird mit der Konkurrenz der Pflanzen bzw. Triebe um die Ressourcen (Wasser, Nährstoffe, Licht) begründet. Je weniger Triebe gebildet werden, desto weniger Körner sind pro m² vorhanden. Diesen Körnern stehen im Verhältnis mehr Nährstoffe zur Verfügung, als in einem dichteren Bestand.

Die TKM des Weizens ist genetisch hoch determiniert und weist eine Heritabilität von 0,8 auf (Sukumaran et al. 2017). Daher steht die TKM in Abhängigkeit zum jeweiligen Ertragsbildungstyp der Sorte. A-Sorte JB Asano wird als Einzelährentyp eingestuft. Folglich werden von der Pflanze weniger Triebe, dafür weniger und größere Ähren mit großen Körnern gebildet (Breun Saatzeit 2018). Im Vergleich dazu erreichte Helmond in allen drei Jahren die niedrigste TKM. Helmond gilt als Kompensationstyp mit mittlerer Bestandesdichte, die potenziell höher ist als bei JB Asano. Somit werden

vermehrt Triebe gebildet. Demzufolge werden mehr Ähren pro m² gebildet, die jeweils kleiner ausgeprägt sind.

Die TKM korreliert in den drei Jahren an beiden Standorten positiv mit dem Kornertrag. Diese Beobachtung ist ein Indiz dafür, dass der Kornertrag in den durchgeführten Versuchen stark von der Kornmasse beeinflusst wurde. Eine positive Korrelation zwischen Kornertrag und TKM beim Weizen konnte auch von Singh et al. (1995), sowie von Akhtar und Chowdhary (2006) beobachtet werden. Zudem konnte ein Zusammenhang zwischen der N-Aufnahme und der TKM bestimmt werden. In den Untersuchungen von Diekmann und Fischbeck (2005) wurde festgestellt, dass die TKM weniger von der N-Düngemenge, sondern stärker von der N-Aufnahme beeinflusst wurde.

5.2 N-Entzüge

Wurde der Rest-N-Gehalt nach der Ernte durch die Reduzierung der N-Düngung gemindert?

Tendenziell nahm die N-Aufnahme des Weizens mit steigender N-Düngemenge zu, sodass die Rest-N-Gehalte des Bodens nach der Weizenernte, innerhalb der Einzeljahre, für die N-Varianten auf einem vergleichbarem Niveau lagen. Jedoch war die N-Aufnahme der Weizenpflanzen stark von der jährlichen Niederschlagsmenge abhängig. So fiel auf, dass im Jahr 2018 an beiden Standorten, aufgrund der trockenen Bedingungen, die höchsten Rest-N-Gehalte im Boden nach der Ernte vorgefunden wurden. In der DüV wird für E-Weizen, bei einem Ertragsniveau von 80 dt/ha, ein Stickstoffbedarfswert von 260 kg N/ha und für A-Weizen (Ertragsniveau 80 dt/ha) ein Bedarf von 230 kg N/ha angegeben. Durch ein höheres Ertragspotenzial des Standortes, kann der N-Bedarf im praktischen Anbau noch erhöht werden (BMEL; BMU; BMF 26.05.2017). Wenn man den Bedarf und die N-Aufnahmen in den drei Versuchsjahren vergleicht, spiegelte sich das Problem der Nitratauswaschung im Weizenanbau wieder. Die N-Aufnahme des Weizens in den mit N gedüngten Varianten (180 bis 240 kg N/ha) lag in Gießen zwischen 132 und 200 kg N/ha und in RH zwischen 123 und 227 kg N/ha. Es wurde deutlich, dass die N-Aufnahme stark von der N-Düngung abweichen kann. Wird der N-Bedarf für den Weizen, z.B. an dem ertragsstärkeren Standort RH, auf Grundlage von Vorgaben aus der DüV, erhöht kann das Risiko von erhöhten Rest-N-Gehalten im Herbst erheblich ansteigen. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass die Stickstoffnutzungseffizienz mit steigendem N-Düngereinsatz tendenziell zurückging. Dieser Zusammenhang konnte auch von Doyle und Holford (1993) sowie von Rahimizadeh et al. (2010) beim Weizen gezeigt werden.

Da die N-Düngung in den durchgeführten Versuchen insgesamt auf einem niedrigen bis mittleren Niveau lag, konnten keine signifikanten Unterschiede für den Rest-N-Gehalt im Boden, zwischen den gedüngten N-Varianten und der ungedüngten Kontrolle, festgestellt werden. Es fand keine Reduzierung der Rest-N-Gehalte aufgrund von einer verminderten N-Düngung statt. Die Rest-N-Gehalte im Boden

lagen in den jeweiligen Düngevarianten auf einem niedrigen Niveau, was auch im Trockenjahr 2018 (GI, RH: ca. 30 kg NO₃-N/ha) der Fall war. Dieser Wert stellt erfreulicherweise noch kein kritisches Niveau dar.

5.3 Vegetationsindices

In den durchgeführten Versuchen wurde festgestellt, dass die engste Korrelation zwischen NDVI und NDRE einerseits und dem Kornertrag andererseits an beiden Standorten und in allen Versuchsjahren zu ES 37-39 festgestellt wurde (NDVI: 0,38 - 0,63; NDRE: 0,43 – 0,72). Demgegenüber schlagen Raun et al. (2001) vor, für eine erfolgreiche Ertragsvorhersage NDVI-Messungen in der späten Bestockungsphase vorzunehmen. Dem steht jedoch entgegen, dass zu einem früheren Zeitpunkt die Bodenbedeckung des Weizens noch nicht ausreichend ist, sodass die Werte stark schwanken könnten. Zur Blüte des Weizens konnten in den eigenen Versuchen geringere Korrelationen beobachtet werden. Ein weiteres Problem des NDVI ist die abnehmende Sensitivität, eine Sättigung, die ab einem Leaf Area Index (LAI) von 3 eintreten kann (Sellers 1987). Sticksel et al. (2004) stellten ebenfalls fest, dass eine Sättigung für den NDVI im Weizen vorlag. In ihren Untersuchungen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen einer Düngemenge von 160 und 220 kg N/ha für den NDVI festgestellt werden. In diesen Untersuchungen wurde in der Schossphase des Weizens eine sehr enge Korrelation zwischen dem NDVI und dem Ertrag festgestellt werden konnte ($R^2 = 0,91$). Hier wurde ab der frühen Kornfüllungsphase des Weizens eine schwächer werdende Korrelation beobachtet. Unter suboptimaler Wasserversorgung waren die Korrelationen zwischen NDVI und Ertrag insgesamt schwächer ausgeprägt (Hassan et al. 2019). In den eigenen Untersuchungen konnte keine Verschlechterung der Korrelationen zwischen den Vegetationsindices und dem Kornertrag bei geringer Wasserversorgung, wie z.B. im Jahr 2018, beobachtet werden. Vielmehr wurde festgestellt, dass der Habitus und die Reife der Pflanzen einen Einfluss auf diese Indices haben können. Dies wurde beim Vergleich der Sorten Helmond und JB Asano deutlich. Die Sorte Helmond zeichnete sich durch große hängende Blätter und eine mittlere Reife (APS 5) aus (Bundessortenamt 2018). Die Sorte JB Asano wird in der Reife mit der APS 4 ausgewiesen (Bundessortenamt 2018) und besitzt eine planophile Blatthaltung. Die phänotypischen Unterschiede scheinen sich auf die Vegetationsindices auszuwirken. So wies die Sorte Helmond an beiden Standorten und zu allen Messterminen die höchsten NDVI-Werte auf, was mit dem Habitus und der beobachteten Frühreife dieser Sorte begründet wird. Helmond zeichnete sich durch eine schnelle Entwicklung aus. Die Untersuchungen von Jackson und Huete (1991) und Huete (1987) zeigten, dass die Pflanzenarchitektur, in Bezug auf den NDVI, einen wichtigen Faktor darstellte.

Die beiden Indices waren nur bedingt geeignet, um den Kornertrag verlässlich vorherzusagen. Für eine gute Vorhersage sollten weitere Vegetationsindices, wie z.B. der Red-Edge Inflection Point Index (REIP) herangezogen werden. Er beinhaltet vier unterschiedliche Wellenlängen (670, 700, 740 und 780 nm) (Guyot et al. 1988). Laut Mistele et al. (2004) beschrieb der REIP den N-Status von Winterweizen am besten.

5.4 Indirekte Qualitätsparameter

Proteingehalt

Der Proteingehalt wird als wichtigstes Bewertungskriterium für Mühlen und nachgelagerte Verarbeiter wie Bäckereien angesehen. Trotz allem gibt es viele Gründe warum der Proteingehalt als wertgebender Indikator weniger geeignet ist. Schon eine sehr frühe Studie konnte zeigen, dass kein linearer Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und dem Backvolumen bestand (Finney und Barmore 1948). Desweiteren ist die Korrelationsbeziehung zwischen Proteingehalt und Backvolumen nicht sonderlich eng. Sie wird von vielen Faktoren stark beeinflusst, wie z.B. Standort, Witterung, Düngemenge und Sorte (Dowell et al. 2008; Weegels et al. 1996a; Rakszegi et al. 2016). Sogar innerhalb einer Qualitätsklasse zeigen die Weizen-Sorten, mit steigendem Proteingehalt, häufig unterschiedliche Zuwächse in der Volumenausbeute. Auch Sorten mit einem geringen Proteingehalt können gute Backergebnisse erzielen (Gabriel et al. 2017). Dies konnte auch für einzelne Sorten in den hiesigen Feldversuchen festgestellt werden. Auch das Bundessortenamt reagierte in diesem Jahr darauf und verwendet den Proteingehalt nicht mehr als Bewertungskriterium für die Einordnung der Sorten in die Qualitätsklassen (Bundessortenamt 2019). Da es bislang noch keine akzeptierte alternative Analyse gibt, die genauso schnell, destruktiv, günstig und einfach durchzuführen ist, wird der Proteingehalt weiter als Bezahlkriterium in der Praxis fungieren. In 2010 zeigte die Untersuchung von Seling (2010), dass eine doppelt so hohe dritte Gabe benötigt wurde, um den Proteingehalt von 12 auf 13 % anzuheben. Dies führt häufig zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt, wie z.B. Nitratauswaschung in das Grundwasser, angesichts einer zu hohen und nicht vollständig aufgenommenen dritte Stickstoff-Düngung bei Weizen (Lord und Mitchell 1998).

Wie reagiert der Proteingehalt der untersuchten Sorten auf eine reduzierte Stickstoffdüngung?

Um diese Fragestellung beantworten zu können, diente als Vergleichsvariante die höchstgedüngte Variante 10 ($\Sigma 240 \text{ kg N/ha} = 180\text{-N}_{\text{min}}/60$). Die N-Stufen lagen bei 180, 200 und 220 kg N/ha. Des Weiteren variierten die Düngezeitpunkte der zweiten und dritten N-Gabe (Vgl. **Tabelle 6**). An beiden Standorte wurde beobachtet, dass die spätbetonten Varianten 4 und 5 ($\Sigma 200 \text{ kg N/ha}$), Variante 7 ($\Sigma 220 \text{ kg N/ha}$), wie auch Variante 10 im Versuchszeitraum hohe oder die höchsten Proteingehalte erzielten. Anhand der Untersuchungen von Pechanek et al. (1997) sowie von Scheromm et al. (1992) wurde festgestellt, dass der Proteingehalt von Weizen mit zunehmender Düngung anstieg. Dies konnte auch in den eigenen Versuchen beobachtet werden. Daneben wurde in den eigenen Versuchen festgehalten, dass eine N-Düngung von 220 kg N/ha mit einer Düngung von 200 kg N/ha und einer spätbetonten dritten Gabe vergleichbare Ergebnisse erzielte. Allerdings führte ein Abschlag von 20 kg N/ha (ca. 10 % Düngemenge) verglichen mit Variante 10 ($\Sigma 240 \text{ kg N/ha}$) zu einer signifikanten

Reduzierung des Eiweißgehaltes. Auch das Splitting von zwei auf drei Applikationen hatte einen positiven Effekt auf den Proteingehalt. Die Variante 3 und 5 erzielten in Summe beide 200 kg N/ha, wobei Variante 3 nur zwei Gaben (120-Nmin/80) und Variante 5 drei Gaben (120-Nmin 40/40 „spätgetont“) erhielt. In allen drei Versuchsjahren erbrachte Variante 5 einen signifikant höheren Proteingehalt als Variante 3. Auch Fuertes-Mendizábal et al. (2010) konnten den günstigen Effekt der N-Düngeaufteilung von zwei auf drei Gaben auf den Proteingehalt des Weizens beobachten. Da dies für die Variante 4 und 6 nicht zutraf, kann davon ausgegangen werden, dass zusätzlich die Terminierung der zweiten und dritten Gabe entscheidend war.

Am Standort Rauschholzhausen hatte der Weizen in den Varianten 2 bis 7 und 10 im Jahr 2016 einen vergleichbaren Proteingehalt. Im darauffolgenden Jahr 2017 erreichten der Weizen in den Varianten 4 (spätbetont), 6 (frühbetont) und in Variante 7 einen vergleichbar hohen Proteingehalt, wie in Variante 10. Im Jahr 2018 konnte sich die Variante 10 von allen anderen Varianten signifikant abheben. Am Standort RH konnte im Vergleich zu GI evtl. etwas mehr N eingespart werden, was vermutlich mit der Bodengüte und dem Nachlieferungspotenzial zusammenhängt. Insgesamt waren die Unterschiede im Proteingehalt zwischen den Varianten etwas geringer ausgeprägt. Anhand einer Metastudie von Williams et al. (2008), die 100 Publikationen aus Nordamerika, Europa und vielen weiteren Ländern untersuchte, konnte festgestellt werden, dass der Proteingehalt besonders durch die Umwelt und die Interaktionen zwischen Genotyp und Umwelt beeinflusst wird. Dies konnte auch für die eigenen Versuche beobachtet werden. Anders gestaltete sich die Lage für die Proteinqualität und die Teig rheologie, diese sind im höchsten Maße vom Genotyp abhängig (Pechanek et al. 1997).

Anhand der durchgeführten Versuche zeigte sich, dass mit einem reduzierten N-Einsatz keine vergleichbaren Proteingehalte erzielt werden konnten. Weiterhin war die Reaktion des Proteingehaltes auf eine reduzierte N-Düngung stark von den Standortbedingungen, wie Bodengüte, N-Nachlieferungspotenzial und Jahreswitterung, abhängig. Um die aktuell geltenden Qualitätsanforderungen der aufnehmenden Hand zu erfüllen und risikoarm zu wirtschaften ist das Einsparpotential als sehr gering einzuschätzen.

Des Weiteren war zu klären, wie die Proteingehalte der verwendeten Sorten auf die reduzierte N-Düngung reagierten.

Es wurde festgestellt, dass zwischen der N-Düngung und der Sorte bezüglich des Proteingehaltes an keinem der beiden Standorte eine Wechselwirkung vorhanden war. Aus diesem Grund kann von einer vergleichbaren Reaktion über alle Sorten gesprochen werden. Es war zu beobachten, dass alle vier Sorten in der jeweiligen N-Düngungsvariante im Vergleich zur Kontrolle mit einer vergleichbaren Zunahme an Protein reagierten (**Tabelle 58**). Somit konnte gezeigt werden, dass die Weizensorten vergleichbar auf die variierende N-Düngung reagierten, obwohl die Rohproteingehalte auf einem unterschiedlichen Niveau lagen.

Tabelle 58: Absolute Proteinzuwächse im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle der untersuchten Weizensorten, Backweizen N-Düngungsversuch Gießen 2016 bis 2018

<i>Variante</i>	Akteur		Helmond		JB Asano		RGT Reform	
	<i>Proteingehalt (% in TM)</i>	<i>Absolute Zunahme im Vergleich zur Kontrolle (% in TM)</i>	<i>Proteingehalt (% in TM)</i>	<i>Absolute Zunahme im Vergleich zur Kontrolle (% in TM)</i>	<i>Proteingehalt (% in TM)</i>	<i>Absolute Zunahme im Vergleich zur Kontrolle (% in TM)</i>	<i>Proteingehalt (% in TM)</i>	<i>Absolute Zunahme im Vergleich zur Kontrolle (% in TM)</i>
Kontrolle	9,2	-	9,8	-	9	-	8,3	-
2 $\Sigma 180 \text{ kg N/ha}$	11,3	2,1	12,1	2,3	11,1	2,1	10,7	2,4
5 $\Sigma 200 \text{ kg N/ha}$	12,5	3,3	13,1	3,3	12,2	3,2	11,7	3,4
7 $\Sigma 220 \text{ kg N/ha}$	12,4	3,2	13,0	3,2	12,2	3,2	11,7	3,4
10 $\Sigma 240 \text{ kg N/ha}$	12,9	3,7	13,6	3,8	12,7	3,7	12,1	3,8

Glutenin-Makropolymer

Welchen Einfluss haben die N-Düngung (Menge, Form) und die Sorten auf den Gehalt an Glutenin-Makropolymer (GMP)?

An beiden Standorten konnten zwischen den getesteten N-Düngemengen kaum Unterschiede im GMP-Gehalt festgestellt werden. In der Forschung besteht kein Konsens darüber, wie stark die Genetik des Weizens und die Umwelteinflüsse beim Anbau des Weizens die Variation des GMP beeinflussen. Die bisherigen Untersuchungen zu dieser Thematik bezogen sich vor allem auf Protein, Gluten, sowie auf die Gluten-Untereinheiten, Glutenin und Gliadin. Luo et al. (2000) fanden heraus, dass eine variierende N-, sowie S-Düngung, keinen Einfluss auf die Glutenin-Untereinheiten hatte. Für den Proteingehalt im Mehl konnte dagegen ein signifikanter Umwelteffekt nachgewiesen werden. Gleichwohl zeigten Zhu und Khan (2001) in ihren Untersuchungen, dass die Menge an Mehlprotein und die SDS-löslichen Glutenine deutlich stärker von der Umwelt, als vom Genotyp, beeinflusst wurden. Wohingegen das SDS-unlösliche Glutenin, was dem GMP entspricht, stärker vom Genotyp kontrolliert wurde. Dieses Ergebnis konnte auch für die hiesigen Versuche bestätigt werden. Daniel und Triboi (2000) stellten dagegen fest, dass neben den Einflüssen des Genotyps die N-Düngung und der Standort die wichtigsten Umweltfaktoren darstellten, die auf den Proteingehalt und die –Zusammensetzung des Proteins einwirkten. Mit steigendem N-Aufwand stieg der Gesamt-Proteingehalt, sowie der Gehalt der Untereinheiten Glutenin und Gliadin, wobei der Gliadin-Anteil eine engere Korrelation zum Proteingehalt aufwies, als die Glutenin-Fraktion. Weitere Studien konnten bestätigen, dass die Gliadin-Fraktion, im Vergleich zum Glutenin-Anteil, mit steigender N-Düngung sehr stark zunahm. Die Funktionsproteine des Weizens (Albumine, Globuline) wurden nicht von der N-Düngung beeinflusst (Wieser und Seilmeier 1998; Levy et al. 1985; Doekes und Wennekes 1982; Kim et al. 1988). Auch die N-Form spielte eine untergeordnete Rolle. Es waren keine Unterschiede zwischen den KAS- und den CULTAN-Varianten zu erkennen.

Welche Beziehung besteht zwischen dem Gesamt-Protein und dem GMP?

In GI konnte eine Wechselwirkung zwischen dem Jahr und der Sorte für den Gehalt an GMP festgestellt werden. Vermutlich ist dieser Effekt auf die Besonderheiten des Jahres 2017 zurückzuführen, in dem eine sehr feuchte Vorernte- und Ernteperiode vorhanden war. Der sichtbare Auswuchs der Weizenkörner (GI) und die niedrigen Fallzahlen, die im Jahr 2017 gemessen wurden, lassen darauf schließen, dass nicht nur der Abbau von Stärke, sondern auch von Proteinen induziert wurde. Einige Studien wiesen einen Zusammenhang zwischen dem Anstieg der Enzymaktivität von

α -Amylasen und Endo-Proteasen, sowie proteinabbauenden Enzymen und der zunehmenden Schädigung des Mehles auf (Jones und Wrobel 1993; MacGregor, A. W., & Matsuo, R. R. 1982; Mac Gregor und Dushnicky 1989; Preston und Kruger 1979). Ichinose et al. (2001) kamen zu dem Schluss, dass es sinnvoller sei, die Aktivität der Endo-Proteasen zu untersuchen, da diese Aktivität negativ mit der Backfähigkeit korrelierte. Je höher die Aktivität der Enzyme, desto niedriger war die Backqualität. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass an beiden Versuchs-Standorten der GMP-Anteil am Gesamt-Proteingehalt für die einzelnen Sorten keine signifikanten Unterschiede aufwies. Innerhalb der drei Jahre konnte ein weitestgehend gleichbleibender GMP-Anteil, trotz schwankender Proteingehalte, festgestellt werden. Dieses Resultat deutet stark darauf hin, dass das GMP maßgeblich vom Genotyp bestimmt wird. Betrachtet man nun die Qualitätsklassen, dann fiel auf, dass die E-Sorten einen etwas höheren GMP-Anteil aufweisen. Positiv war, dass RGT Reform in GI mit beiden E-Sorten auf einem Niveau lag, hingegen in RH nur mit Helmond. Das sprach dafür, dass der GMP-Anteil nicht linear zum Proteingehalt verlief, da RGT Reform an beiden Standorten die niedrigsten und Helmond die höchsten Proteingehalte erzielte.

In GI konnte eine Wechselwirkung zwischen Sorte und N-Düngung für den GMP-Anteil am Gesamt-Protein festgestellt werden. Absolut betrachtet erreichten die Null-Varianten der Sorten Akteur, Helmond und RGT Reform die höchsten GMP-Anteile. Tendenziell nahm der GMP-Anteil am Gesamt-Protein mit steigender Düngung ab, jedoch nicht signifikant (**Abbildung 66**). Dies könnte sich durch die starke Zunahme an Gliadin, im Vergleich zu Glutenin, mit steigender Düngung erklären lassen (Wieser und Seilmeier 1998; Triboi et al. 2000).

Für den Standort Rauschholzhausen wurde bezüglich des GMP-Gehaltes eine Wechselwirkung zwischen dem Versuchsjahr und der N-Düngung festgestellt. Innerhalb der Jahre gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den N-Varianten für den GMP-Anteil am Gesamt-Proteingehalt. Im Vergleich der Jahre war zu erkennen, dass im Jahr 2017 die GMP-Anteile ein deutlich höheres Niveau aufwiesen, als in den Jahren 2016 und 2018. In 2017 wurden aufgrund sehr hoher Erträge die geringsten Proteingehalte erzielt. Daraus ließ sich schlussfolgern, dass sich ein moderater Proteingehalt günstig auf den GMP-Anteil auswirkte. Auch hier ließen sich wiederholt die Ergebnisse zu Steigerung des Gliadin-Anteils im Vergleich zum Glutenin-Anteils bei zunehmender N-Düngung von Daniel und Triboi (2000), Wieser und Seilmeier (1998), Prieto et al. (1992) anführen. Dies ließ die Vermutung zu, dass mit einem höheren Glutenin-Anteil, auch ein höherer GMP-Gehalt verbunden ist. Dennoch ergab sich zwischen dem Gesamt-Proteingehalt und dem GMP-Anteil kein enger Zusammenhang ($R^2 = 0,22$).

Eignet sich das Glutenin-Makropolymers zur Vorhersage der Backqualität des Weizens?

Auf Grundlage der vorliegenden Untersuchungen stand das Glutenin-Makropolymer in keinem engen Zusammenhang mit dem OBT- oder dem RMT-Backvolumen ($R^2= 0,27; 0,15$). Dies widersprach vielen Studien, die auf die positive Beziehung zwischen GMP und Backvolumen bzw. rheologischen Eigenschaften hinwiesen. Laut Weegels et al. (1996a), Gupta et al. (1993) und Singh et al. (1990) korreliert GMP stark mit den Teigeigenschaften und der Backqualität. In den Untersuchungen von Thanhhaeuser et al. (2014b) zeigte sich eine enge Korrelation zwischen GMP und Backvolumen. Im Vergleich zum Rohproteingehalt, den Gliadinen und den Gluteninen konnte mithilfe des GMPs das Backvolumen am zuverlässigsten vorhergesagt werden. Die Untersuchungen von Gupta et al. (1993) zeigten, dass 90 % der Variation für die Teigfestigkeit durch das GMP erklärbar waren. Weiterhin wiesen die Proben mit einem größeren Anteil an hochmolekularen Protein-Polymeren (GMP) eine höhere Teigelastizität und eine längere Teigentwicklungszeit auf. Auch Derera (1989) dokumentierte, dass eine positive Korrelation zwischen dem GMP und der Teigentwicklungszeit vorzufinden war. Moonen et al. (1982) beschrieb GMP als guten Vorhersageparameter für die Backqualität. Die Ergebnisse anderer Autoren konnten durch die eigenen Versuche nicht bestätigt werden. Dies könnte eventuell durch die Sortenauswahl begründet werden. In den eigenen Versuchen wurden ausschließlich Sorten der E- und A-Qualitätsgruppen getestet. Ein umfangreicheres Sortiment mit E-, A-, B- und C-Sorten würden die bereits mehrfach dokumentierte Korrelation zwischen GMP und Backvolumen vermutlich klarer darstellen. In dieser Arbeit stand die N-Düngung und deren Reduzierung im Hinblick auf die Backqualität im Vordergrund, weshalb nur eine geringe Auswahl an Sorten geprüft wurde. Luo et al. (2000) vertreten die Ansicht, dass ein einziges indirekt bestimmtes Qualitätsmerkmal nicht die Gesamtheit der Weizenqualität abbilden kann, da viele Faktoren involviert sind. Es wird daher geschlussfolgert, dass zur Bewertung der Backqualität des Weizens weitere Qualitäts-Parameter herangezogen werden sollten.

Welchen Einfluss haben die indirekten Qualitätsparameter (Feuchtklebergehalt, Glutenindex, Sedimentationswert, Fallzahl) auf die Backqualität unter einer reduzierten N-Düngung?

Feuchtklebergehalt

Es konnte an beiden Standorten keine Interaktion zwischen der N-Düngung und der Sorte beobachtet werden. Deshalb ging man davon aus, dass die Sorten vergleichbar auf die N-Stufen reagierten. Weder die E- noch die A-Sorten erreichten konstant einen Feuchtklebergehalt von 25 - 30 %. In GI wurde mit den spätbetonten Varianten 4 und 5, sowie mit einer höheren dritten N-Gabe (7, 10), der angestrebte Feuchtklebergehalt

von über 25 % in allen Jahren erzielt. In Rauischholzhausen traf dies jedoch nicht zu. In den eigenen Versuchen korrelieren der Protein- und der Feuchtklebergehalt sehr eng miteinander ($R^2 = 0,82 - 0,87$). Folglich stieg mit zunehmenden Proteingehalt, auch der Glutengehalt an. Dies war nicht verwunderlich, da der Gluten-Anteil am Gesamtprotein bei ca. 80 % liegt (Belitz et al. 2008). Timms et al. (1981) stellte fest, dass Mehle mit einem niedrigen bzw. mittleren Proteingehalt eine vergleichbare Gluten-Qualität aufwiesen. Die Mehle mit dem höchsten Proteingehalt erzielten eine geringere Wertigkeit und schlussendlich weniger Backvolumen. Der Glutengehalt stieg zwar mit zunehmender N-Düngung an, jedoch veränderte sich das Glutenin-Gliadin-Verhältnis. Mit zunehmender N-Düngung wird mehr Gliadin als Glutenin synthetisiert (Wieser und Seilmeier 1998; Levy et al. 1985; Doekes und Wenekes 1982; Kim et al. 1988). Wie bereits erwähnt, hat dies ungünstige Auswirkungen auf die Teigfestigkeit und folglich auf die Volumenausbeute. Der Parameter Feuchtklebergehalt allein besaß keine große Aussagekraft im Hinblick auf die Backqualität.

Glutenindex

An beiden Standorten konnte gezeigt werden, dass mit steigendem Proteingehalt der Glutenindex abnahm, was auf eine Erweichung des Klebers zurückzuführen war. Dieser Effekt wird wiederum auf die Veränderung des Gliadin-Glutenin-Verhältnisses innerhalb des Korn-Proteins des Weizens zurückgeführt. So wurde bereits in früheren Studien festgestellt, dass der Gliadin-Anteil, der im Vergleich zum Glutenin-Anteil, mit steigender N-Düngung stärker zunahm, für den beschriebenen Effekt verantwortlich war (Wieser und Seilmeier 1998; Prieto et al. 1992). Durch die Zunahme von Gliadin verringerte sich der Dehnwiderstand und die Entwicklungszeit des Teiges (Fido et al. 1997).

Sedimentationswert

Eckert et al. untersuchte 1993 den Vorgang des Sedimentationstests unter dem Lichtmikroskop. Die Untersuchungen zeigten, dass nur die Glutenine in der Lage waren zu quellen, während die Gliadine vollständig gelöst waren. Es wurden folgende Korrelationen für den Sedimentationswert und weitere Backqualitätsparameter ermittelt: Proteingehalt im Korn (NIRS) 0,66; Feuchtklebergehalt (Glutomatic) 0,41; GMP 0,2 und OBT 0,23. Obwohl der Sedimentationstest indirekt die Proteinqualität bzw. auch die –quantität beschreiben soll, konnten keine engen Zusammenhänge aufgezeigt werden. In den Versuchen ergab sich eine Interaktion zwischen der Sorte und der N-Düngung. Dies ließ sich auf die E-Sorte Helmond zurückführen, die an beiden Standorten in allen Varianten signifikant höhere Sediment-Volumina erreichte. Die Überlegenheit war nicht ausschließlich auf die höheren Proteingehalte zurückzuführen. Es war zu beobachten, dass Helmond an beiden Standorten pro Prozentpunkt Protein signifikant mehr Sedimentationsvolumen erzielen konnte (HE:4,5 ml; AK: 3,4 ml; AS: 3,1 ml; RE: 3,5 ml Sedimentationsvolumen pro

Prozentpunkt Protein). Das würde im Umkehrschluss bedeuten, dass das Protein im Vergleich zu den anderen Sorten einen höheren Glutenin-Anteil haben müsste. Dazu wurden allerdings keine weiterführenden Analysen durchgeführt. Weiterhin sollte miteinbezogen werden, dass Helmond eine signifikant höhere Volumenausbeute für den RMT-Test an beiden Standorten zeigte. Für den OBT war dieses Resultat ebenfalls zu beobachten, allerdings weniger deutlich für den Standort Gießen.

Fallzahl

Mit der Fallzahl-Methode wird indirekt die Stärkebeschaffenheit bewertet. Je niedriger die Fallzahl ist, desto höher ist die α -Amylase-Aktivität und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Auswuchs. Das bedeutet, dass der Stärkeabbau durch die Amylasen, die Festigkeit des Stärkekleisters negativ beeinflusst, wodurch der Kleister flüssiger wird (Lösche 2017). Gekeimte Weizenkörner sind ungeeignet für den Vermahlungsprozess. Daher wird dieser Weizen meist auf Futterqualität herabgestuft. Die züchterische Bearbeitung der Fallzahlstabilität ist ein wichtiges Ziel für die Branche geworden (Martinez et al. 2018). Mehle mit einer niedrigen Fallzahl liefern ein unbefriedigendes Backergebnis. In Folge dessen kann es zu einer klebrigen Krume und einem unsauberen Anschnitt des Brotes kommen (Edwards et al. 1989). Des Weiteren wurde beobachtet, dass eine geringe Fallzahl eine Reduzierung der Wasseraufnahme, Teigfestigkeit und Backvolumina, sowie eine schwache Krumenstruktur zur Folge hatte (Derera 1989; Kruger 1989). Eine sehr alte Studie aus dem Jahr 1933 von Kozmin wies bereits auf die abnehmende Backqualität bei Auswuchsvorkommen hin. In diesen Untersuchungen wurde bei Auswuchs-Weizen klebrige Teige, unelastische Krumen und eine hohe Feuchtigkeit im Brot festgestellt. Die unelastische Krume wird als Folge der chemischen Stärkeschädigung und Abbau zu Zuckern und Dextrinen beschrieben. Die hohe Feuchtigkeit wird auf die beeinträchtigte Verkleisterung zurückgeführt. Diese Effekte konnten auch an den Weizen-Proben des Standortes Gießen aus dem Jahr 2017 beobachtet werden. Ursache dafür war eine sehr feuchte Witterung vor und während der Weizenernte, die zu einer erheblichen Verzögerung des Erntetermins führte.

Aus diesem Grund konnten die Weizenproben nicht nach dem Standardverfahren des Rapid-Mix-Tests verarbeitet und getestet werden. Der Teig war zu klebrig, um ihn mit den automatisierten Maschinen verarbeitet zu können. Daher wurde als Alternative der Kastenbackversuch verwendet. Mit diesem Test ließen sich die Teige aus Gießen zwar verarbeiten, jedoch verursachte der fortgeschrittene Abbau der Stärke zu Maltose eine starke Bräunung der Oberfläche. Die verbliebene Stärke konnte nicht genügend verkleistern. Des Weiteren konnte anhand der Fotoaufnahmen dargestellt werden, dass der Teig kaum aufgegangen war, was für ein unzureichendes Kleber-Stärke-Gerüst zurückzuführen war (**Abbildung 81**). Dadurch wurde die Gärtoleranz vermutlich beeinträchtigt.

5.5 Backversuche

Welche Auswirkungen haben das N-Management und die Sortenwahl auf die Volumenausbeute der Backtests?

Die reduzierte N-Düngung führte dazu, dass ausschließlich 11 % der Proben, die mit dem RMT verbacken wurden, den geforderten Wert von 660 ml Backvolumen erreichten. Auffällig war, dass überwiegend Proben der E-Sorte Helmond die Mindestanforderungen erfüllten. Demgegenüber erreichten mit dem OBT insgesamt 92 % der Proben den geforderten Mindestwert. Damit wird deutlich, dass der RMT das Potenzial der Proben nicht vollständig ausschöpfen konnte und die Teigbereitung eine sehr wichtige Rolle spielte. Für eine realistische Bewertung der Backfähigkeit von Weizen-Sorten scheint die Standardmethode (RMT) unter Praxisbedingungen nicht immer geeignet zu sein.

Der Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und dem RMT-Backvolumen scheint vom Niveau des Proteingehaltes abhängig zu sein. Laut Gabriel et al. (2017) führte die Steigerung des Proteingehaltes von 10 auf 12 % zu einem höheren Volumenzuwachs, im Vergleich zu einer Steigerung von 12 auf 14 % Protein. So konnte für die Anhebung des Proteingehaltes von 10 auf 12 % eine Zunahme von 10 bis 15 % des Backvolumens beobachtet werden, wohingegen nur 5 bis 10 % Volumenzunahme für die Steigerung von 12 auf 14 % verzeichnet wurde. Die Autoren folgerten daraus, dass ein Proteingehalt von über 12 % eine schwächere Vorhersagekraft bezüglich der Volumenausbeute hatte ($R^2 = 0,15$). Für die Proben mit weniger als 12 % war die Vorhersagekraft deutlich größer ($R^2 = 0,64$).

In den eigenen Untersuchungen wurde ebenfalls eine Unterteilung der vorliegenden Daten unter Berücksichtigung des Proteingehaltes von 12 % vorgenommen. Dafür wurden alle Proben betrachtet, die auch für die RMT-Backversuche ausgewählt wurden ($n = 112$). Dabei hatten 85 Proben einen Proteingehalt von < 12 % und 27 Proben einen Proteingehalt von > 12 %. Ähnliche Korrelationen, wie in der genannten Studie von Gabriel et al. (2017), konnten erzielt werden. Wobei der Stichprobenumfang für die Gruppe über 12 % relativ klein ausfiel (**Tabelle 59**). Auch diese Resultate machten nochmals deutlich, dass der Proteingehalt als preisbestimmender Parameter nur im geringen Maße zuverlässig ist. Besonders, weil Proteingehalte oberhalb von 12 % für das Backweizensegment angestrebt werden und in diesem Bereich die Korrelation zwischen Proteingehalt und RMT-Backvolumen deutlich schwächer wurde.

Tabelle 59: Korrelationen zwischen Proteingehalt und den unterschiedlichen Backtest mit der Einstufung unter bzw. über 12 % Proteingehalt

Backvolumen (ml/100 g Mehl)	Proteingehalt im Mehl < 12 % (R²)	Proteingehalt im Mehl > 12 % (R²)
RMT	0,56	0,008
OBT	0,27	0,002

Weiterhin wurde die Steigerung der Gruppe kleiner 10 % zu max. 12 % und zu max. 15 % Eiweißgehalt verglichen. Hier konnte für den RMT eine Volumenzunahme bei max. 10 zu max. 12 % Protein von 16 %, sowie von max. 12 zu max. 15 % Protein eine um 6 % höherer Volumenausbeute, erzielt werden. Zu ähnlichen Ergebnisse kamen Gabriel et al. (2017). An dieser Stelle muss noch einmal auf die starke Zunahme des Gliadin-Anteils mit zunehmender N-Düngung, im Unterschied zum Glutenin-Anteils des Gesamt-Proteingehaltes, hingewiesen werden (Daniel und Triboi 2000; Johansson et al. 2001; Tronsmo et al. 2002). Durch eine Zunahme an Gliadin wird das Backvolumen negativ beeinflusst. Für den OBT fielen die Volumenzuwächse geringer aus. Von max. 10 auf max. 12 % Protein konnte eine Steigerung von 7 % erreicht werden. Vergleich man die Gruppen von max. 12 mit max. 15 % Proteingehalt, konnte eine drei prozentige Erhöhung des Backvolumens erreicht werden.

Eine weitere Erkenntnis war, dass die geringeren N-Stufen (Σ 180 kg N/ha) pro Prozentpunkt Mehl-Protein eine gesteigerte OBT-Volumenausbeute im Vergleich zu den höheren N-Düngungsvarianten aufwiesen. Auch an dieser Stelle ist die Zusammensetzung des Klebereiweißes von großer Bedeutung. Die gilt besonders im Hinblick auf den gesteigerten Gliadinanteil bei zunehmender Düngermenge. Die höchstgedüngten Variante 10 (Σ 240 kg N/ha) erzielte meist die niedrigste Volumenausbeute pro Prozentpunkt Mehl-Protein. Daraus ergab sich die Vermutung, dass mit steigender Düngemenge, das Protein an Effizienz bzw. Wertigkeit, aufgrund der Gluten-Zusammensetzung, verlor.

Im Ergebnis der über drei Jahre durchgeführten Untersuchungen wird vermutet, dass die hier berücksichtigten Weizensorten mit hoher Wahrscheinlichkeit eine unterschiedliche Zusammensetzung des Glutens aufwiesen. Diesbezüglich ist insbesondere die A-Sorte RGT Reform hervorzuheben. Diese Sorte wies stets die niedrigsten Proteingehalte auf, konnte aber pro Prozentpunkt Mehl-Protein signifikant mehr Backvolumen ausbilden. Weiterhin wurde beobachtet, dass RGT Reform am Standort GI ein vergleichbares Backvolumen wie die E-Sorte Akteur erzielen. In RH gelang dies nicht. Hier schnitt RGT Reform signifikant schwächer im Vergleich zu Akteur ab. Als Ursache für die abweichende Reaktion der Sorten werden Unterschiede in der Struktur der Speicherproteine vermutet. Bereits frühere Untersuchungen zeigten, dass zum einen die Proteinmenge und zum anderen die Proteinqualität von Bedeutung sind (Finney und Barmore 1948; Sozinov et al. 1980; Payne et al. 1984). Grundsätzlich unterscheiden sich die Sorten in dem Vorhandensein von

verschiedenen Allelen. Gene, die für die Codierung der Speicherproteine verantwortlich sind, befinden sich an neun Gen-Loci, die sich wiederum auf sechs Chromosomen verteilen. Zum Beispiel befinden sich die Gen-Loci Glu-A1, Glu-B1 und Glu-D1, die für die Codierung von HMW-Glutenin-Einheiten verantwortlich sind, auf dem langen Armen der Chromosomen 1A, 1B und 1D (Payne et al. 1984). Daran wird deutlich, dass die Kombination der unterschiedlichen Gen-Loci sehr mannigfaltig sein kann.

Welcher der Backtests kann die Backqualität zuverlässiger darstellen?

Insgesamt war festzustellen, dass die erreichten RMT-Volumina im Mittel über alle untersuchten Proben 131 ml/100 g Mehl unter der Volumenausbeute des OB-T lagen. Im Mittel wurden mit dem Optimierten Backtest 727 und mit dem Rapid-Mix-Test 596 ml/100 g Mehl erzielt. Das Ergebnis war nicht verwunderlich, da der RMT nicht auf die differenzierten Ansprüche der Teige eingeht. Im Vergleich dazu verwendet der OB-T das Knetzeitoptimum, sodass die Teige weder unter- noch überknetet sind. Eine optimale Teigentwicklung fand statt und das gesamte Potential der jeweiligen Sorte konnte ausgeschöpft werden. Die Untersuchungen von Linnemann (2014) ergaben einen vergleichbaren Volumenzuwachs von 138 ml/100 g Mehl verglichen mit dem RMT. Als Basis dienten, wie auch in der vorliegenden Arbeit, E- und A-Sorten. Thanhaeuser et al. (2014b) untersuchten den Micro-Rapid-Mix-Test (MRMT) und den Mikro Backtest (MBT). Der MBT nutzte, wie der OB-T, einen Farinographen um die optimale Knetdauer zu bestimmen. Dabei variierte die Knetzeit von 6,8 bis 22 Minuten. Auch hier konnten die eigenen Erkenntnisse bestätigt werden. Mithilfe des MBT konnte somit eine höhere Volumenausbeute im Vergleich zum MRMT generiert werden.

Ist es möglich, mit einer reduzierten N-Düngung im Weizenanbau eine ausreichende Backfähigkeit zu erreichen?

Für die Beantwortung der Frage, muss zwischen den verwendeten Backtests differenziert werden. Mit den Ergebnissen des optimierten Backtests konnte gezeigt werden, dass auch mit weniger N-Dünger bzw. weniger Protein ein gutes Backergebnis erzielt werden konnte. Allerdings gilt als Bewertungsmaßstab der RMT, der deutlich geringere Volumina für die Proben aufzeigte. Werden die Handelsanforderungen für den konventionellen und den biologischen Qualitätsweizenanbau verglichen, wird deutlich, dass auch mit weniger Protein im Öko-Landbau zufriedenstellende Backwaren erzeugt werden können. Für den Bio-Qualitätsweizen werden Proteingehalte von mindestens 11 bis 12 % gefordert (FIBL 2013). Das Bundessortenamt hat bereits auf die unzureichende Korrelation zwischen Proteingehalt und RMT-Volumen reagiert, indem sie den Parameter nicht mehr für die Einordnung in die Qualitätsgruppen verwenden (Bundessortenamt 2019). Nun müsste auch vonseiten des Handels etwas unternommen werden.

Im Spannungsfeld zwischen politischen Vorgaben, wie der DüV, sowie jüngst die Ausweisung von gefährdeten Gebieten (§ 13 DüV) mit weitaus strikteren Düngevorgaben, und den Anforderungen des Handels, wird der Backweizen-Anbau zur immer größer werdenden Herausforderung. Schlussendlich müssen die Bewertungskriterien überdacht und angepasst werden. Eine Schnellmethode, die die Gluten-Komponenten Glutenin und Gliadin, mittels Nahinfrarotspektroskopie, mengenmäßig bestimmen könnte, wäre ein denkbarer Ansatz. Im Vorfeld sollten bundesweite vergleichbare Versuche durchgeführt werden um entsprechende Kalibrationen vorzunehmen und um festzustellen, in welcher Höhe sich der Gliadin-Anteil negativ auf die Volumenausbeute auswirkt. So könnte ein Grenzwert festgelegt werden, der eine faire Bezahlung nach Qualität und eine reduzierte Belastung der Umwelt ermöglichen könnte

5.6 Methodenvergleich

Sind die Ergebnisse der NIRS-Analytik und der nasschemischen Standard-Methoden vergleichbar?

Der Zusammenhang zwischen den beiden Methoden, Dumas-Verbrennungsmethode und NIRS, die zur Bestimmung des Korn-Proteingehaltes des Weizens verwendet wurden, lag für die etwa 1000 Proben bei $R^2 = 0,91$. Von anderen Wissenschaftlern wurden vergleichbare Werte ermittelt (Baslar und Ertugay 2011; Jirsa et al. 2007; Dowell et al. 2006; Hrušková und Faměra 2003; Hrušková et al. 2001). Im Gegensatz dazu fiel die Übereinstimmung der Messreihen zur Bestimmung des Proteingehaltes im Mehl, der über die Dumas-Verbrennungsmethode und die HPLC ermittelt wurde, etwas schwächer aus ($R^2 = 0,78$). Die Gegenüberstellung der Methoden zur Bestimmung des Feuchtklebergehaltes wies wiederum eine sehr gute Korrelation auf ($R^2 = 0,82$). Weitere Untersuchungen zeigten ähnlich hohe Korrelationen zwischen der nasschemischen Analytik und der NIRS-Bestimmung für den Feuchtklebergehalt (Pawlinsky und Williams 1998; Miralbés 2004; Albanell et al. 2012). Dagegen konnte für den Sedimentationswert eine unzureichende Vergleichbarkeit der Bestimmungsmethoden festgestellt werden ($R = 0,29$). Auch andere Studien zeigten deutlich schwächere Korrelationen (Jirsa et al. 2008; Hrušková et al. 2001; Hrušková und Faměra 2003). In einigen Studien ging man von der Annahme aus, dass die Korrelation der Qualitätsparameter auf die engen Zusammenhänge mit dem Korn-Proteingehalt zurückzuführen waren. Die Herausforderung ist es eine Kalibrierung zu erstellen, die unabhängig vom Proteingehalt ist (Baslar und Ertugay 2011; Delwiche et al. 1998). Generell kann davon ausgegangen werden, dass mit beiden Methoden vergleichbare Ergebnisse für den Proteingehalt im Korn und den Feuchtklebergehalt erzielen können. Allerdings kann der Glutenindex nicht durch die spektrale Messung vorhergesagt werden. Das war nachteilig einzustufen, wenn es um die Feuchtkleber-Bestimmung mittels NIRS ging. Die Nahinfrarotspektroskopie konnte die klassischen Laboruntersuchungen nur zum Teil ersetzen. Weiterhin wurde in anderen Studien der Versuch unternommen, mit mäßigem Erfolg, die Gluten-Komponenten mittels NIRS zu quantifizieren (Wesley et al. 2001; Scholz et al. 2007). Einer wissenschaftlichen

Gruppe ist es gelungen, gentechnisch veränderte Sorten, die gliadinarm waren, von herkömmlichen Sorten, mithilfe der NIR-Technik, zu unterscheiden. Der Ansatz war eine Methode zu entwickeln, die den Gliadin-Gehalt in Lebensmitteln bestimmen kann, um die Ernährung von Zöliakie-Patienten zu verbessern (García-Molina et al. 2016). Dies wäre ein Anknüpfungspunkt um die Backqualität anhand des Gliadin-Gehaltes zu bewerten und wohlmöglich eine NIRS-Schnellmethode zu entwickeln.

6 Zusammenfassung

Das Ziel der durchgeführten Untersuchungen bestand darin, den Einfluss einer reduzierten N-Düngung auf den Kornertrag und das Backverhalten von Weizen (*Triticum aestivum* L.) zu bewerten. Des Weiteren sollte die Vergleichbarkeit der Analyse-Methoden, Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) und nasschemische Standard-Methoden, geklärt werden. Dazu wurden in den Jahren 2016 bis 2018 in den Versuchsstationen Gießen und Rauischholzhausen der Justus-Liebig-Universität Gießen zweifaktorielle Parzellenversuche als randomisierte Blockanlage durchgeführt. Als Prüffaktoren wurden zum einen die N-Düngung, die zehn unterschiedliche Varianten beinhaltete, untersucht. Diese unterschieden sich in der N-Menge (Σ 180-240 kg N/ha), N-Form und im -Applikationstermin. Zum anderen wurde der Prüffaktor Sorte mit jeweils zwei E- und A-Sorten untersucht. Alle Faktorkombinationen wurden in vierfacher Wiederholung angelegt, sodass jährlich ein Parzellenversuch mit 160 Teilstücken je Standort ausgewertet werden konnte. Dafür wurde ein lineares Modell mit fixen Faktoren (N-Düngung, Sorte und Jahr) verwendet. Als Prüfmerkmale wurden jedes Jahr N_{\min} -Gehalte im Frühjahr und nach der Ernte im Boden, morphologische Pflanzenmerkmale, Vegetationsindices, Kornerträge sowie indirekte (Proteingehalt, Feuchtklebergehalt, Glutenindex, GMP, Sedimentationswert und Fallzahl) und direkte Weizen-Qualitätsparameter (RMT- und OBT-Backversuche) bestimmt. Die erhobenen Daten wurden mittels RStudio statistisch ausgewertet.

Anhand der dreijährigen Versuche konnte gezeigt werden, dass an beiden Standorten ein erhebliches N-Einsparpotential bezüglich des Kornertrages vorhanden war. Die Rest-N-Gehalte bewegten sich auf einem niedrigen Niveau (ca. 20 - 30 kg N/ha). Zudem ging die Stickstoffnutzungseffizienz mit zunehmendem N-Einsatz zurück. Jedoch konnten mit einem reduzierten N-Management die Qualitätsanforderungen der herkömmlichen Standardmethoden, wie Proteingehalt oder Backvolumen des RMT, nur selten erfüllt werden. Positiv hervorzuheben war, dass mit dem optimierten Backtest (OBT), trotz des geringeren Stickstoffeinsatzes, überwiegend gute bis sehr gute Backvolumina erzielt werden konnten. Aufgrund der Verwendung des Knetzeitoptimums wurde beim OBT das Potential jeder Sorte vollständig ausgeschöpft. Die Teige waren weder unter- noch überknetet. Zwischen den Ergebnissen der Backtests und dem Glutenin-Makropolymer (GMP) waren keine engen Korrelationen vorhanden. Zwar wiesen die E-Sorten tendenziell einen höheren Gehalt an GMP als die A-Sorten auf, dennoch erzielte RGT Reform ebenfalls hohe Werte. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass die N-Düngung keinen signifikanten Einfluss auf den GMP-Gehalt hatte. Daher ist davon auszugehen, dass der GMP-Gehalt im hohen Maße genetisch bestimmt wird. Darüber hinaus wurde angenommen, dass der Gliadin-Anteil im Vergleich zum Glutenin-Anteil mit zunehmender N-Düngung stärker anstieg, sodass die Teige weicher wurden. Durch die nachlassende Festigkeit wurden geringere Volumenausbeuten erzielt. Dies konnte auch mithilfe des Glutenindex validiert werden, der mit zunehmender N-Düngung abfiel. Anhand dieser Resultate konnte belegt werden, dass ein gutes Backergebnis nicht nur von der Proteinmenge, sondern entscheidend von der Proteinzusammensetzung bestimmt

wird. Daher wird prognostiziert, dass die Sortenwahl im Qualitätsweizen-Anbau in Zukunft eine noch größere Rolle spielen wird.

Neben dem Klebereiweiß sollten die Viskositätseigenschaften der Stärke nicht vernachlässigt werden. Durch feuchte Bedingungen vor und während der Ernte kann die Backfähigkeit stark verschlechtert werden. Damit nimmt das Merkmal Fallzahlstabilität eine hohe Priorität ein, besonders bei zunehmenden Witterungsextremen. Der Methodenvergleich zwischen den nasschemischen Analysen und der NIRS ergab eine sehr gute Vergleichbarkeit für den Protein- und den Feuchtklebergehalt. Besonders für den Feuchtklebergehalt sind die hohen Korrelationen hervorzuheben, da die Standardmethode fehleranfällig ist. Für den Sedimentationswert war die Vergleichbarkeit des Sedimentationstests nach Zeleny und der NIRS-Analytik nicht gegeben.

Summary

The aim of the present work was to assess the influence of reduced N fertilization on grain yield and baking performance of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Furthermore, we conducted the comparability of near infrared spectroscopy (NIRS) and classical wet chemical methods for protein content, wet gluten content and Zeleny sedimentation. The field trials carried out in the years 2016, 2017 and 2018 at two research stations (Gießen, Rauschholzhausen) of the Justus-Liebig-University Gießen. The two-factor experiment laid out as randomized block design in four replications. The first factor was the N fertilization that included ten different treatments which varied in amount (Σ 180-240 kg N/ha), form and timing of nitrogen application. The second factor was the variety. The experiment contained two varieties of the quality group E (Elite wheat) and two varieties of quality group A (Quality wheat). In every year was a field experiment that included 160 single plots for both locations, which are evaluable for statistical analysis with RStudio. A linear model with fix factors (N fertilization, variety and year) is used. The investigated parameters were nitrogen content in soil in early spring and after harvesting, morphological plant parameters, vegetation indices, grain yield as well as indirect (protein content, wet gluten content, gluten index, GMP, Zeleny sedimentation and falling number) and direct quality parameters (RMT- and OBT baking tests).

The three years experiment showed a considerable potential for reducing the N fertilization to obtain no significant decrease in grain yield for both locations. There was a low nitrogen content after harvesting overall years and locations (20 - 30 kg N/ha). Moreover, the nitrogen use efficiency decreased with increasing the dose of N fertilizer. The results also showed that the standard quality requirements for wheat like protein content or loaf volume (RMT) cannot achieved under reduced N amount. It established that the samples achieved good to very good results under lower N management through the optimized baking test (OBT). Because of using the mixing time optimum the baking test exploit the whole potential of the wheat samples. Thereby the doughs

neither too under- nor too over-kneaded. There was no close relationship between loaf volume of the baking tests and glutenin macropolymer (GMP). In comparison to E varieties which tended to higher GMP level, the A variety RGT Reform showed also a high GMP content. In addition, it could be observed that the GMP was not influenced by the N fertilization. It can be assumed that the glutenin subunit GMP is high genetically determined. Beyond that, there was a stronger increase in gliadin than in glutenin with increased N fertilizer amount resulting in softer doughs. Due to the decreasing strength of dough lower loaf volumes were achieved. The gluten index provided similar results which decreased with growing N fertilizer dose. Based on these results, it was possible to prove that a good baking result is not only determined by the amount of protein, but also crucially by the protein composition. It is therefore predicted that the choice of variety will play an even greater role in quality wheat cultivation in the future.

In addition to the gluten, the viscosity properties of the starch should not be neglected in order to achieve a good baking result. Due to wet conditions before and during harvest can cause serious damage to baking properties of wheat. For this purpose, the stability of falling number becomes a key parameter especially in times with increase in extreme weather conditions. For the protein and wet gluten content the data confirmed a high comparability of NIRS and classical wet chemical methods. The high correlations should be emphasized especially for the wet gluten content, since the standard method is prone to errors. For the sedimentation value, the Zeleny sedimentation test and the NIRS analysis were not comparable.

7 Literaturverzeichnis

Akhtar, N. A.; Chowdhary, M. A. (2006): Estimation of genetic and phenotypic correlation coefficients among grain yield and its components in bread wheat. In: *INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY* 8 (4), S. 516–522.

Online verfügbar unter

https://www.researchgate.net/profile/Abid_Hussain18/publication/237687643_Efficacy_of_Insecticides_Against_Subterranean_Termites_in_Sugarcane/links/00b495269ac45b53d8000000/Efficacy-of-Insecticides-Against-Subterranean-Termites-in-Sugarcane.pdf, zuletzt geprüft am 09.12.2019.

Albanell, E.; Miñarro, B.; Carrasco, N. (2012): Detection of low-level gluten content in flour and batter by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). In: *Journal of Cereal Science* 56 (2), S. 490–495. DOI: 10.1016/j.jcs.2012.06.011.

Alcoz, M. M.; Hons, F. M.; Haby, V. A. (1993): Nitrogen Fertilization Timing Effect on Wheat Production, Nitrogen Uptake Efficiency, and Residual Soil Nitrogen. In: *Agronomy Journal* 85 (6), 1198-1203. DOI: 10.2134/agronj1993.00021962008500060020x.

Amelung, W.; Blume, H.-P.; Fleige, H.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I. et al. (2018): Böden als Pflanzenstandorte. In: Wulf Amelung, Hans-Peter Blume, Heiner Fleige, Rainer Horn, Ellen Kandeler, Ingrid Kögel-Knabner et al. (Hg.): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde, Bd. 65. Unter Mitarbeit von Thomas Gaiser, Jürgen Gauer, Nina Stoppe, Sören Thiele-Bruhn und Gerhard Welp. 17., überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin: Springer Spektrum, S. 491–581.

Barnes, E. M.; Clarke, T. R.; Richards, S. E.; Colaizzi, P. D.; Haberland, J.; Kostrzewski, M.; Lascano, R. J. (Hg.) (2000): Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. Fifth International Conference on Precision Agriculture. Bloomington, MN, USA.

Baslar, M.; Ertugay, F. M. (2011): Determination of protein and gluten quality-related parameters of wheat flour using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). In: *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 35 (2), S. 139–144. Online verfügbar unter <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/abstract.htm?id=11526>, zuletzt geprüft am 18.12.2019.

Belitz, H.-D.; Grosch, W.; Schieberle, P. (2008): Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 6. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

BMEL (2016): Ernte 2016. Mengen und Preise.

BMEL (2017): Ernte 2017. Mengen und Preise.

BMEL (2018): Ernte 2018. Mengen und Preise.

BMEL; BLE (2018): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 62. Online verfügbar unter https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Jahrbuch/Agrarstatistisches-Jahrbuch-2018.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2019.

BMEL; BMU; BMF (26.05.2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Düngeverordnung. Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, zuletzt geprüft am 17.11.2019.

BMU; BMEL (2016): Nitratbericht 2016. Hg. v. BMU, Referat WR I 3. Bonn.

Borghi, B. (1999): Chapter 4: Nitrogen as determinant of wheat growth and yield. In: Emilio H. Satorre und Gustavo A. Slafer (Hg.): *Wheat. Ecology and physiology of yield determination*. New York: Food Products Press, S. 67–84.

Breun Saatzucht (2018): Ihre Zukunft in der Pflanze. JB Asano. Herzogenaurach. Online verfügbar unter http://breun.de/wp-content/uploads/2018/08/Sortenblatt-A4_JBAsano-2018.pdf, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Brouwer, Walther (1972): *Handbuch des speziellen Pflanzenbaues*. 1: Weizen, Roggen, Gerste, Hafer, Mais. Berlin, Hamburg: Parey.

Bundessortenamt (2018): Beschreibende Sortenliste. Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Hg. v. Bundessortenamt. Hannover. Online verfügbar unter https://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/bsl_getreide_2018.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2018.

Bundessortenamt (2019): Beschreibende Sortenliste. Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Hg. v. Bundessortenamt. Hannover. Online verfügbar unter <https://www.bundessortenamt.de/bsa/sorten/beschreibende-sortenlisten/download-bsl-im-pdf-format/>, zuletzt geprüft am 07.12.2019.

Chan, K. Y.; Heenan, D. P. (1996): The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. In: *Soil and Tillage Research* 37 (2-3), S. 113–125. Online verfügbar unter [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(96\)01008-2](https://doi.org/10.1016/0167-1987(96)01008-2).

Chowdhury, S. I.; Wardlaw, I. F. (1978): The effect of temperature on kernel development in cereals. In: *Australian Journal of Agricultural Research* 29 (2), S. 205. DOI: 10.1071/AR9780205.

Christen, O. (2009): Kapitel 3 Biologische Grundlagen. In: O. Christen (Hg.): *Winterweizen. Das Handbuch für Profis*. Frankfurt am Main: DLG-Verl., S. 51–62.

Costa, M. S.; Scholz, M. B. S.; Franco, C. M. L. (2013): Effect of high and low molecular weight glutenin subunits, and subunits of gliadin on physicochemical parameters of different wheat genotypes. In: *Food Science and Technology* 33 (1), S. 163–170.

Daniel, C.; Triboj, E. (2000): Effects of Temperature and Nitrogen Nutrition on the Grain Composition of Winter Wheat: Effects on Gliadin Content and Composition. In: *Journal of Cereal Science* 32 (1), S. 45–56. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521000903138>, zuletzt geprüft am 15.12.2019.

- Deike, S. (2014): Keine wirklich guten Vorbilder. In: *DLG- Mitteilungen, Panorama Spezial-Düngung* (3), S. 72–75, zuletzt geprüft am 22.12.2019.
- Delwiche, S. R.; Graybosch, R. A.; Peterson, C. J. (1998): Predicting Protein Composition, Biochemical Properties, and Dough-Handling Properties of Hard Red Winter Wheat Flour by Near-Infrared Reflectance. In: *Cereal Chemistry Journal* 75 (4), S. 412–416. DOI: 10.1094/CCHEM.1998.75.4.412.
- Derera, N. F. (1989): The Effect of Preharvest Rain. In: N. F. Derera (Hg.): *Preharvest Field Sprouting in Cereals*. 1. Aufl.: CRC Press, S. 1–14.
- Diekmann, F.; Fischbeck, G. (2005): Differences in Wheat Cultivar Response to Nitrogen Supply. II: Differences in N-Metabolism-Related Traits. In: *J Agron Crop Sci* 191 (5), S. 362–376. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2005.00166.x.
- Doekes, G. D.; Wennekes, L. M. J. (1982): Effect of nitrogen fertilization on quantity and composition of wheat flour protein. In: *Cereal Chemistry Journal* 59, S. 276–278.
- Don, C.; Lichtendonk, W.; Plijter, J. J.; Hamer, R. J. (2003): Glutenin Macropolymer. A Gel Formed by Glutenin Particles. In: *Journal of Cereal Science* 37 (1), S. 1–7. DOI: 10.1006/jcrs.2002.0481.
- Dowell, F. E.; Maghirang, E. B.; Pierce, R. O.; Lookhart, G. L.; Bean, S. R.; Xie, F. et al. (2008): Relationship of Bread Quality to Kernel, Flour, and Dough Properties. In: *Cereal Chemistry Journal* 85 (1), S. 82–91. DOI: 10.1094/CCHEM-85-1-0082.
- Dowell, F. E.; Maghirang, E. B.; Xie, F.; Lookhart, G. L.; Pierce, R. O.; Seabourn, B. W. et al. (2006): Predicting Wheat Quality Characteristics and Functionality Using Near-Infrared Spectroscopy. In: *Cereal Chemistry Journal* 83 (5), S. 529–536. DOI: 10.1094/CC-83-0529.
- Doyle, A. D.; Holford, I. C. R. (1993): The Uptake of Nitrogen by Wheat, its Agronomic Efficiency and their Relationship to Soil and Fertilizer Nitrogen. In: *Australian Journal of Agricultural Research* 44, S. 1245–1258.
- Dubcovsky, J.; Echaide, M.; Giancola, S.; Rousset, M.; Luo, M. C.; Joppa, L. R.; Dvorak, J. (1997): Seed-storage-protein loci in RFLP maps of diploid, tetraploid, and hexaploid wheat. In: *Theor Appl Genet* 95 (7), S. 1169–1180. DOI: 10.1007/s001220050678.
- DWD (2017): „Viel Nass von oben“ im Herbst 2017 ließ Bodenwasserspeicher überlaufen. Offenbach am Main. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/berichte/3-2_rueckblicke/2017/bericht_herbst_2017.html?nn=586880, zuletzt geprüft am 30.10.2018.
- Eckert, B.; Amend, T.; Belitz, H.-D. (1993): The course of the SDS and Zeleny sedimentation tests for gluten quality and related phenomena studied using the light microscope. In: *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung* 196, S. 122–125.

Edwards, R. A.; Ross, A. S.; Marles, D. J.; Ellison, F. W.; Tomlinson, J. D. (1989): Enzymes from rain-damaged and laboratory-germinated wheat I. Effects on product quality. In: *Journal of Cereal Science* 10 (2), S. 157–167. DOI: 10.1016/S0733-5210(89)80044-X.

Erasmi, S. (2002): Analyse spektrometrischer in situ Messungen als Datenquelle für die teilflächenspezifische Zustandsbeschreibung von Winterweizenbeständen. Diss. Georg-August-Universität, Göttingen.

Erling, P.; Botterbrodt, S. (Hg.) (2008): Handbuch Mehl- und Schälmmüllerei. 3., überarb., erw. Aufl. Clenze: Agrimedia. Online verfügbar unter http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3074427&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm.

Europäische Union (20.12.2005): Umwelt: Kommission treibt Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland voran. Brüssel. Internet. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_05_1640.

Europäische Union (10.07.2014): Nitratbelastung im Grundwasser: Kommission fordert Deutschland zum Handeln auf. Infopunkt der Berliner Vertretung der Europäischen Kommission, info@europa-punkt.de. Internet. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/germany/news/nitratbelastung-im-grundwasser-kommission-fordert-deutschland-zum-handeln-auf_de, zuletzt geprüft am 22.12.2019.

Ewart, J. A. D. (1979): Glutenin Structure. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 30 (5), S. 482–492.

FAO (2014): World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. Rome.

FAOSTAT (2017): Worldwide area harvested for important crops. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>, zuletzt aktualisiert am 18.01.2019, zuletzt geprüft am 25.11.2019.

FIBL (2013): Qualitätsweizenerzeugung im Biolandbau. Mehrjährige Ergebnisse zu Kulturführungsmaßnahmen und Sortenwahl aus Bionet-Praxisversuchen. Online verfügbar unter https://www.fibl.org/fileadmin/documents/de/news/2013/bionet_weizenbroschuere_2013.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2019.

Fido, R. J.; Békés, F.; Gras, P. W.; Tatham, A. S. (1997): Effects of α -, β -, γ - and ω -Gliadins on the Dough Mixing Properties of Wheat Flour. In: *Journal of Cereal Science* 26 (3), S. 271–277. DOI: 10.1006/jcrs.1997.0138.

Finney, K. F.; Barmore, M. A. (1948): Loaf volume and protein content of hard winter and spring wheat. In: *Cereal Chemistry Journal* 25, S. 291–312.

Fossati, D.; Brabant, C. (2003): Die Weizenzüchtung in der Schweiz. In: *Agrarforschung* 10, S. 447–458.

Friedrich, K.; Kaspar, F. (2019): Rückblick auf das Jahr 2018 - das bisher wärmste Jahr in Deutschland. DWD. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190102_waermstes_jahr_in_deutschland_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 12.05.2019.

Fuertes-Mendizábal, T.; Aizpurua, A.; González-Moro, M. B.; Estavillo, J. M. (2010): Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. In: *European Journal of Agronomy* 33 (1), S. 52–61. DOI: 10.1016/j.eja.2010.03.001.

Gabriel, Doreen; Pfitzner, Christian; Haase, Norbert U.; Hüsken, Alexandra; Prüfer, Heinrich; Greef, Jörg-Michael; Rühl, Gerhard (2017): New strategies for a reliable assessment of baking quality of wheat – Rethinking the current indicator protein content. In: *Journal of Cereal Science* 77, S. 126–134. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.08.002.

García-Molina, M. D.; García-Olmo, J.; Barro, F. (2016): Effective identification of low-gliadin wheat lines by near infrared spectroscopy (NIRS): Implications for the development and analysis of foodstuffs suitable for celiac patients. In: *PloS one* 11 (3). Online verfügbar unter <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0152292>, zuletzt geprüft am 18.12.2019.

Geisler, G. (1983): Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Berlin, Hamburg: Verlag Paul Parey.

Glattes, H.; Schoeggel, G.; Haschke, H. (1985): NIT-(near-infrared transmission)technique: Basis and first experiences in cereal testing. In: *Getreide Mehl und Brot (Germany, F.R.)* 39 (4), S. 99–102. Online verfügbar unter <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DE85S0188>, zuletzt geprüft am 23.12.2019.

Graveland, A. (1980): Extraction of wheat proteins with sodium dodecyl sulphate. In: *Ann. Technol. Agric.*, 2, 29, 113-123.

Grosch, W., Wieser, H. (1999): Redox Reactions in Wheat Dough as Affected by Ascorbic Acid. In: *Journal of Cereal Science* 29 (1), S. 1–16.

Gupta, R. B.; Khan, K.; MacRitchie, F. (1993): Biochemical Basis of Flour Properties in Bread Wheats. I. Effects of Variation in the Quantity and Size Distribution of Polymeric Protein. In: *Journal of Cereal Science* 18, S. 23–41.

Guyot, G.; Baret, F.; Major, D. J. (1988): High spectral resolution: Determination of spectral shifts between the red and the near infrared. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 11, S. 750–760.

Hassan, M. A.I; Yang, M.; Rasheed, A.; Yang, G.; Reynolds, M.; Xia, X. et al. (2019): A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. In: *Plant Science* 282, S. 95–103. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.10.022.

Haumann, G.; Schönberger, H.; Honermeier, B.; Meßner, H. (2000). In: N. Lütke Entrup (Hg.): Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 2: Kulturpflanzen. 2 Bände. Gelsenkirchen: Mann.

Hessisches Statistisches Landesamt (2017): Statistische Berichte. Die Ernte ausgewählter Feldfrüchte in Hessen 2016.

Hessisches Statistisches Landesamt (2018): Statistische Berichte. Die Ernte ausgewählter Feldfrüchte in Hessen 2017.

Hessisches Statistisches Landesamt (2019): Statistische Berichte. Die Ernte ausgewählter Feldfrüchte in Hessen 2018.

Hrušková, M.; Bednarova, M.; Novotny, F. (2001): Wheat flour dough rheological characteristics predicted by NIRSystem 6500. In: *Czech Journal of Food Sciences* 19, S. 213–218.

Hrušková, M.; Faměra, O. (2003): Prediction of wheat and flour Zeleny sedimentation value using NIR technique. In: *Czech Journal of Food Sciences* 21 (No. 3), S. 91–96. DOI: 10.17221/3482-CJFS.

Huete, A. R. (1987): Soil-Dependent Spectral Response in a Developing Plant Canopy. In: *Agronomy Journal* 79 (1), S. 61–68. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Alfredo_Huete/publication/250102581_Soil-Dependent_Spectral_Response_in_a_Developing_Plant_Canopy1/links/02e7e521b1715f1623000000.pdf, zuletzt geprüft am 21.12.2019.

Huete, A. R. (1988): A soil-adjusted vegetation index (SAVI). In: *Remote Sensing of Environment* 25 (3), S. 295–309. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X.

Ichinose, Y.; Takata, K.; Kuwabara, T.; Iriki, N.; Abiko, T.; Yamauchi, H. (2001): Effects of increase in α -amylase and endo-protease activities during germination on the breadmaking quality of wheat. In: *Food Science and Technology Research* 7 (3), S. 214–219, zuletzt geprüft am 14.12.2019.

Jackson, R. D.; Huete, A. R. (1991): Interpreting vegetation indices. In: *Preventive Veterinary Medicine* 11 (3), S. 185–200. DOI: 10.1016/S0167-5877(05)80004-2.

Jirsa, O.; Hruskova, M.; Svec, I. (2007): Bread features evaluation by NIR analysis. In: *Czech Journal of Food Sciences* 25, S. 243–248. Online verfügbar unter <https://www.agriculturejournals.cz/web/cjfs.htm?volume=25&firstPage=243&type=publishedArticle>, zuletzt geprüft am 18.12.2019.

Jirsa, O.; Hrušková, M.; Svec, I. (2008): Near-infrared prediction of milling and baking parameters of wheat varieties. In: *Journal of Food Engineering* 87 (1), S. 21–25. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877407004815?via%3Dihub>, zuletzt geprüft am 18.12.2019.

Johansson, Eva; Prieto-Linde, Maria Luisa; Jönsson, Jan Ö. (2001): Effects of Wheat Cultivar and Nitrogen Application on Storage Protein Composition and Breadmaking Quality. In: *Cereal Chemistry Journal* 78 (1), S. 19–25. DOI: 10.1094/CCHEM.2001.78.1.19.

- Jones, B. L.; Wrobel, R. (1993): The endoproteinases of germinating barley. In: M. K. Walker-Simmons und Jeffrey L. Ried (Hg.): Pre-harvest sprouting in cereals 1992. Papers presented at the Sixth International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals, held in Coeur d'Alene, Idaho on July 25-29, 1992. St. Paul, Minn: American Association of Cereal Chemists, S. 262–269.
- Jordan, C. F. (1969): Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. In: *Ecology* 50 (4), S. 663–666. DOI: 10.2307/1936256.
- Kage, H.; Baumgärtel, G. (2009): Kapitel 6 Düngung. In: O. Christen (Hg.): Winterweizen. Das Handbuch für Profis. Frankfurt am Main: DLG-Verl., S. 113–154.
- Kastenmüller, S. (2008): H Qualitätsuntersuchung/Labortechnik. In: P. Erling und S. Botterbrodt (Hg.): Handbuch Mehl- und Schälmmüllerei. 3., überarb., erw. Aufl. Clenze: Agrimedia, S. 295–332.
- Kim; J.-J.; Kieffer, R.; Belitz, H.-D. (1988): Rheologische Eigenschaften von rekonstituierten Weizenklebern mit variierenden Anteilen an Prolaminfraktionen verschiedener Getreidearten. In: *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung* 186 (1), S. 16–21.
- Knipling, Edward B. (1970): Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. In: *Remote Sensing of Environment* 1 (3), S. 155–159. DOI: 10.1016/S0034-4257(70)80021-9.
- Knittel, H.; Albert, E.; Ebertseder, T. (2012): Praxishandbuch Dünger und Düngung. 2. Aufl. Clenze: Agrimedia (Themenbibliothek Pflanzenproduktion).
- Kozmin, N. (1933): Biochemical characteristics of dough and bread from sprouted grain. In: *Cereal Chemistry Journal* 10 (420).
- Kruger, J. E. (1989): Biochemistry of Preharvest Sprouting in Cereals. In: N. F. Derera (Hg.): Preharvest Field Sprouting in Cereals. 1. Aufl.: CRC Press.
- Kücke, M. (2001): Biomasseproduktion und N-Effizienz von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung–Feldversuchsergebnisse 2001 245 (Sonderheft), S. 81–92. Online verfügbar unter <http://www.cultan.de/inhalt/pdf/sonderheft-cultan.pdf#page=83>, zuletzt geprüft am 28.12.2019.
- Laidig, F.; Piepho, H.-P.; Rentel, D.; Drobek, T.; Meyer, U.; Huesken, a. (2017): Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. In: *Theoretical and Applied Genetics* 130 (1), S. 223–245. DOI: 10.1007/s00122-016-2810-3.
- Levy, A. A.; Galili, G.; Feldman, M. (1985): The effect of additions of *Aegilops longissima* chromosomes on grain protein in common wheat. In: *Theoretical and Applied Genetics* 69 (4), S. 429–435. DOI: 10.1007/BF00570913.

Lilienthal, H. (2014): Optische Sensoren in der Landwirtschaft: Grundlagen und Konzepte. In: *Journal für Kulturpflanzen* 66 (2), S. 34–41. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Holger_Lilienthal/publication/262144859_Optical_sensors_in_agriculture_Principles_and_concepts/links/541829190cf2218008bf2a21.pdf.

Lindhauer, M. G.; Lösche, K.; Miedaner, T. (Hg.) (2017): Warenkunde Getreide. Inhaltsstoffe, Analytik, Reinigung, Trocknung, Lagerung, Vermarktung, Verarbeitung. Unter Mitarbeit von Andreas Berk, Bernhard Chilla, Sven Dänicke, Heinz Kaiser, Klaus Münzing, Katja Schneider et al. 7. Auflage. [Clenze]: Agrimedia (Agrimedia).

Linnemann, L. (2010): Entwicklung einer prozessnahen Diagnostik der Mehlqualität und Teigbereitung zur optimierten Herstellung von Backwaren aus Öko-Weizensorten. Online verfügbar unter https://orgprints.org/18758/1/18758-06OE296-forschungsring-linnemann-2010-melqualitaet_oekoweizen.pdf, zuletzt geprüft am 21.11.2019.

Linnemann, L. (2014): Durchführung von Spezialanalysen zur Ermittlung des Backvolumens und der Glutenin-Makropolymer Konzentration. Forschungsring e.V.

Lord, E. I.; Mitchell, R. D. J. (1998): Effect of nitrogen inputs to cereals on nitrate leaching from sandy soils. In: *Soil Use & Management* 14 (2), S. 78–83. DOI: 10.1111/j.1475-2743.1998.tb00619.x.

Lösche, K. (2017): Kapitel 9: Qualität des Weizens zur Backwarenherstellung. In: M. G. Lindhauer, K. Lösche und T. Miedaner (Hg.): Warenkunde Getreide. Inhaltsstoffe, Analytik, Reinigung, Trocknung, Lagerung, Vermarktung, Verarbeitung. Unter Mitarbeit von Andreas Berk, Bernhard Chilla, Sven Dänicke, Heinz Kaiser, Klaus Münzing, Katja Schneider et al. 7. Auflage. [Clenze]: Agrimedia (Agrimedia).

Luo, C.; Branlard, G.; Griffin, W. B.; McNeil, D. L. (2000): The Effect of Nitrogen and Sulphur Fertilisation and their Interaction with Genotype on Wheat Glutenins and Quality Parameters. In: *Journal of Cereal Science* 31 (2), S. 185–194. DOI: 10.1006/jcrs.1999.0298.

Mac Gregor, A. W.; Dushnicky, L. (1989): STARCH DEGRADATION IN ENDOSPERMS OF DEVELOPING BARLEY KERNELS*. In: *Journal of the Institute of Brewing* 95 (5), S. 321–325. DOI: 10.1002/j.2050-0416.1989.tb04638.x.

MacGregor, A. W., & Matsuo, R. R. (1982): Starch degradation in endosperms of barley and wheat kernels during initial stages of germination. In: *Cereal Chemistry Journal* 59, S. 210–216. Online verfügbar unter https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1982/Documents/Chem59_210.pdf.

Maidl, F.-X.; Stickse, E.; Retzer, F.; Fischbeck, G. (1998): Effect of Varied N-fertilization on Yield Formation of Winter Wheat under Particular Consideration of Mainstems and Tillers. In: *Journal of Agronomy and Crop Science* 180 (1), S. 15–22. DOI: 10.1111/j.1439-037X.1998.tb00363.x.

Martinez, S. A.; Godoy, J.; Huang, M.; Zhang, Z.; Carter, A. H.; Garland C. et al. (2018): Genome-Wide Association Mapping for Tolerance to Preharvest Sprouting and Low Falling Numbers in Wheat. In: *Frontiers in plant science* 9. DOI: 10.3389/fpls.2018.00141.

Ministry of Environment and Food of Denmark (23.10.2012): Derogation from the Nitrates Directive. Odense. The Danish Environmental Protection Agency, Tolderlundsvej 5, 5000 Odense C, mst@mst.dk. Internet. Online verfügbar unter <https://eng.mst.dk/trade/agriculture/nitrates-directive/derogation/>.

Miralbés, C. (2004): Quality control in the milling industry using near infrared transmittance spectroscopy. In: *Food Chemistry* 88 (4), S. 621–628. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814604003474>.

Mistele, B.; Gutser, R.; Schmidhalter, U. (2004): Validation of field-scaled spectral measurements of the nitrogen status in winter wheat. In: *In Program book of the joint conference ICPA*, S. 1187–1195.

Mokry, M. (2013): Cultan: Eine echte Alternative. In: *DLG- Mitteilungen* (9), S. 80–83.

Moll, R. H.; Kamprath, E. J.; & Jackson, W. A. (1982): Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization 1. In: *Agronomy Journal* 74 (3), S. 562–564.

Moonen, J. E.; Scheepstra A.; Graveland, A. (1982): Use of the SDS-sedimentation test and SDS-polyacrylamidegel electrophoresis for screening breeder's samples of wheat for bread-making quality. In: *Euphytica* (31), S. 677–690.

Mueller, E.; Wieser, H.; Koehler, P. (2016): Preparation and chemical characterisation of glutenin macropolymer (GMP) gel. In: *Journal of Cereal Science* 70, S. 79–84. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.05.021.

Müller, J. (2014): Dumas oder Kjeldahl für die Referenzanalyse? Vergleich und Betrachtungen zur Stickstoff-/Proteinanalyse von Lebens- und Futtermitteln. Hg. v. FOSS. Hilleroed, Dänemark.

Osborne, T. M. (1907): The proteins of the wheat kernel. In: *Carnegie institute of Washington* No. 84.

Oury, F.-X.; Godin, C. (2007): Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes? In: *Euphytica* 157 (1), S. 45–57. DOI: 10.1007/s10681-007-9395-5.

Pawlinsky, T.; Williams, P. (1998): Prediction of Wheat Bread-Baking Functionality in Whole Kernels, Using near Infrared Reflectance Spectroscopy. In: *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 6 (1), S. 121–127. Online verfügbar unter <https://www.osapublishing.org/jnirs/abstract.cfm?uri=jnirs-6-1-121>, zuletzt geprüft am 18.12.2019.

Payne, P. I.; Holt, L. M.; Jackson, E. A.; Law, C. N.; Damania, A. B. (1984): Wheat Storage Proteins: Their Genetics and Their Potential for Manipulation by Plant Breeding [and Discussion]. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 304 (1120), S. 359–371. DOI: 10.1098/rstb.1984.0031.

Pechanek, U.; Karger, A.; Gröger, S.; Charvat, B.; Schöggel, G.; Lelley, T. (1997): Effect of Nitrogen Fertilization on Quantity of Flour Protein Components, Dough Properties, and Breadmaking Quality of Wheat. In: *Cereal Chemistry Journal* 74 (6), S. 800–805. DOI: 10.1094/CCHEM.1997.74.6.800.

Pelshenke, P. F.; Schulz, A.; Stephan, H. (1964): Merkblatt der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. Backversuch zur Qualitätserfassung kleberstarker Weizenmehl (Kastenbackversuch). Merkblatt Nr. 48. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e. V. (AGF). Detmold. Online verfügbar unter <http://www.agfdt.de/loads/merkblat/mb48.pdf>, zuletzt geprüft am 23.12.2019.

Pelshenke, P. F.; Schulz, A.; Stephan, H. (2007): Merkblatt der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. Rapid-Mix-Test (RMT). Merkblatt 62. 3. Auflage. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. Detmold. Online verfügbar unter <http://www.agfdt.de/loads/merkblat/mb62a.pdf>, zuletzt geprüft am 23.12.2019.

Preston, K. R.; Kruger, J. E. (1979): Physiological control of exo- and endoproteolytic activities in germinating wheat and their relationship to storage protein hydrolysis. In: *Plant physiology* 64 (3), S. 450–454. DOI: 10.1104/pp.64.3.450.

Prieto, J. A.; Kelfkens, M.; Weegels, P. L.; Hamer, R. J. (1992): Variations in the gliadin pattern of flour and isolated gluten on nitrogen application Implications for baking potential and rheological properties. In: *Zeitschrift fr Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 194 (4), S. 337–343. DOI: 10.1007/BF01193216.

Rahimizadeh, M.; Kashani, A.; Zare-Feizabadi, A.; Koochecki, A.; Nassiri-Mahallati, M. (2010): Nitrogen use efficiency of wheat as affected by preceding crop, application rate of nitrogen and crop residues. In: *Australian Journal of Crop Science* 4 (5), S. 363–368. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Majid_Rahimizadeh/publication/266456514_Nitrogen_use_efficiency_of_wheat_as_affected_by_preceding_crop_application_rate_of_nitrogen_and_crop_residues/links/577fc34508ae9485a439ad98.pdf, zuletzt geprüft am 10.12.2019.

Rakszegi, M.; Mikó, P.; Löschenberger, F.; Hiltbrunner, J.; Aebi, R.; Knapp, S. et al. (2016): Comparison of quality parameters of wheat varieties with different breeding origin under organic and low-input conventional conditions. In: *Journal of Cereal Science* 69, S. 297–305. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.04.006.

Raun, W. R.; Solie, J. B.; Johnson, G. V.; Stone, M. L.; Lukina, E. V.; Thomason, W. E.; Schepers, J. S. (2001): In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. In: *Agronomy Journal* 93 (1), S. 131–138. Online verfügbar unter http://nue.okstate.edu/Index_Publications/In_seasonAJ2001b.pdf, zuletzt geprüft am 21.12.2019.

Reckleben, Y. (2004): Innovative Echtzeitsensorik zur Bestimmung und Regelung der Produktqualität von Getreide während des Mähdruschs. Dissertation. Christian-Albrecht-Universität, Kiel. Institut für Landwirtschaftliche Verdahrenstechnik.

Reiner, L. (Hg.) (1992): Weizen aktuell. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft. 2., völlig neu bearb. Aufl. Frankfurt am Main: DLG-Verl.

Rimbach, Gerald; Nagursky, Jennifer; Erbersdobler, Helmut F. (2015): Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger. 2. Aufl. 2015. Berlin: Springer Spektrum (Springer-Lehrbuch).

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. (Hg.) (1974): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of the Earth Resources Technology Satellite Symposium Washington DC, USA, NASA.

Schächtle, J.; Maidl, F.-X. (2004): The effect of cultivar on the relationship between the vegetation index REIP and the N uptake of wheat canopies (*Triticum aestivum* L.). In: *European Journal of Agriculture* ((eingereicht)).

Schellberg, J. (1990): Die spektrale Reflexion von Weizen. Ein Beitrag zur Zustandsbeschreibung landwirtschaftlicher Kulturpflanzenbestände durch Fernerkundung. Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn.

Scheromm, P.; Martin, G.; Bergoin, A.; Autran, J. C. (1992): Influence of nitrogen fertilization on the potential bread-baking quality of two wheat cultivars differing in their responses to increasing nitrogen supplies. In: *Cereal Chemistry Journal* 69, S. 664–670. Online verfügbar unter [Influence of nitrogen fertilization on the potential bread-baking quality of two wheat cultivars differing in their responses to increasing nitrogen supplies](#), zuletzt geprüft am 29.12.2019.

Scholz, É.; Prieto-Linde, M. L.; Gergely, S.; Salgó, A.; Johansson, E. (2007): Possibilities of using near infrared reflectance/transmittance spectroscopy for determination of polymeric protein in wheat. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87 (8), S. 1523–1532. DOI: 10.1002/jsfa.2878.

Schönberger, H. (Hg.) (2006): Getreide anbauen wie die Profis. Bestände aufbauen, führen, schützen. Münster: Landwirtschaftsverlag (Top agrar Ratgeber). Online verfügbar unter http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=2884403&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm.

Schulz, R.; Makary, T.; Hubert, S.; Hartung, K.; Gruber, S.; Donath, S. et al. (2015): Is it necessary to split nitrogen fertilization for winter wheat? On-farm research on Luvisols in South-West Germany. In: *The Journal of agricultural science* 153 (4), S. 575–587. DOI: 10.1017/S0021859614000288.

Sciarini, L. S.; Ribotta, P. D.; León, A. E.; Pérez, G. T. (2010): Influence of Gluten-free Flours and their Mixtures on Batter Properties and Bread Quality. In: *Food Bioprocess Technol* 3 (4), S. 577–585. DOI: 10.1007/s11947-008-0098-2.

Sciarba, E. (2015): Vergleich der Ergebnisse unterschiedlicher Backversuche. In: Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e. V. (AGF) (Hg.): 66. Tagung für Bäckerei-Technologie. 66. Tagung für Bäckerei-Technologie. Detmold, 0,3-04.11.2015. Max Rubner-Institut. Detmold: Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e. V. (AGF).

Seling, S. (2010): Bedeutung des Proteingehaltes von Backweizen aus Sicht der Wissenschaft. In: *Getreidetechnologie* 64, S. 103–110.

Sellers, P. J. (1987): Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration, II. The role of biophysics in the linearity of their interdependence. In: *Remote Sensing of Environment* 21 (2), S. 143–183. DOI: 10.1016/0034-4257(87)90051-4.

Sherman, Jamie D.; Nash, Deanna; Lanning, Susan P.; Martin, John M.; Blake, Nancy K.; Morris, Craig F.; Talbert, Luther E. (2014): Genetics of End-Use Quality Differences between a Modern and Historical Spring Wheat. In: *Crop Science* 54 (5), S. 1972. DOI: 10.2135/cropsci2013.11.0749.

- Shewry, P. R.; Halford, N. G.; Tatham, A. S. (1992): High molecular weight subunits of wheat glutenin. In: *Journal of Cereal Science* 15 (1), S. 105–120.
- Shewry, P. R.; Tatham, A. S.; Forde, J.; Kreis, M.; Mifflin, B. J. (1986): The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: A reassessment. In: *Journal of Cereal Science* 4 (2), S. 97–106.
- Sieling, K.; Ubben, K.; Christen, O. (2007): Effects of preceding crop, sowing date, N fertilization and fluquinconazole seed treatment on wheat growth, grain yield and take-all. In: *Journal of Plant Diseases and Protection* 114 (5).
- Simmonds, Norman W. (1995): The relation between yield and protein in cereal grain. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67 (3), S. 309–315. DOI: 10.1002/jsfa.2740670306.
- Singh, K. N.; Donovan, R.; MacRitchie, F. (1990): Use of Sonification and Size-Exclusion High-Performance Liquid Chromatography in the Study of Wheat Flour Proteins. II. Relative Quantity of Glutenins as a Measure of Breadmaking Quality. In: *Cereal Chemistry Journal* 67 (2), S. 161–170. Online verfügbar unter https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1990/Documents/67_161.pdf, zuletzt geprüft am 16.12.2019.
- Singh, K. N.; Singh, S. P.; Singh, G. S. (1995): Singh, K. N., Singh, S. P., & Singh, G. S. (1995). Relationship of Physiological Attributes with Yield Components in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Rain-fed Condition. In: *Agricultural Science Digest* 15 (1), S. 11–14, zuletzt geprüft am 09.12.2019.
- Skerritt, John H.; Hac, Luch; Bekes, Ferenc (1999): Depolymerization of the Glutenin Macropolymer During Dough Mixing: I. Changes in Levels, Molecular Weight Distribution, and Overall Composition. In: *Cereal Chemistry Journal* 76 (3), S. 395–401. DOI: 10.1094/CCHEM.1999.76.3.395.
- Sommer, K. (2000): CULTAN-cropping system: fundamentals, state of development and perspectives. In: *Nitrogen in a Sustainable Ecosystem: From the Cell to the Plant*, S. 361–375.
- Sommer, K. (2003): Sommer, K. (2003). Grundlagen des "CULTAN"-Verfahrens. Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Braunschweig: Landbauforschung Völkenrode.
- Sommer, K. (2005): CULTAN - fertilization. Gelsenkirchen: Th. Mann; 2018.
- Sommer, K.; Mertz, M.; Rossig, K. (1976): Stickstoff zu Weizen als Ammonium mit Ammonium Nitrificiden. I. Ertragsbildung bei Weizen mit Stickstoff als Ammonium und Ammonium Nitrificiden. Sonderheft. In: *Landwirtschaftliche Forschung*, S. 132–147.
- Sommer, K.; Six, R. (1981): Ammonium als Stickstoffquelle beim Anbau von Futtergerste. In: *Landwirtschaftliche Forschung* (Sonderheft 38), S. 151–161.
- Song, C.; Otto, R. (1995): Schnellbestimmung von wertbestimmenden Komponenten in Wurstwaren mittels Nahe-Infrarot-Transmissionsspektroskopie. In: *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* 201 (3), S. 226–229. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF01192993.pdf>.

- Song, Y.; Zheng, Q. (2007): Dynamic rheological properties of wheat flour dough and proteins. In: *Trends in Food Science & Technology* 18 (3), S. 132–138. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224406003451>, zuletzt geprüft am 08.09.2019.
- Sozinov, A. A.; Poperelya, F. A. (1980): Genetic classification of prolamines and its use for plant breeding [gliadins, proteins, electrophoresis, wheat]. In: *Annales de Technologie Agricole (France)* 29 (2), S. 229–245.
- Sticksel, E.; Schächtl, J.; Huber, G.; Liebler, J.; Maidl, F.-X. (2004): Diurnal Variation in Hyperspectral Vegetation Indices Related to Winter Wheat Biomass Formation. In: *Precision Agriculture* 5 (5), S. 509–520. DOI: 10.1007/s11119-004-5322-0.
- Sugár, E.; Berzsenyi, Z.; Árendás, T.; Bónis, P. (2016): Effect of nitrogen fertilization and genotype on the yield and yield components of winter wheat. In: *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* 67 (1), S. 25–34. DOI: 10.1515/boku-2016-0003.
- Sukumaran, S.; Lopes, M.; Dreisigacker, S.; Reynolds, M. (2017): Genome wide association mapping for grain weight in spring wheat across multiple environments, S. 20–27. Online verfügbar unter <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/18162/58466.pdf?sequence=1#page=30>, zuletzt geprüft am 28.12.2019.
- Thanhaeuser, S. M.; Wieser, Herbert; Koehler, Peter (2014b): Correlation of Quality Parameters with the Baking Performance of Wheat Flours. In: *Cereal Chemistry Journal* 91 (4), S. 333–341. DOI: 10.1094/CCHEM-09-13-0194-CES1.
- Timms, M. F.; Bottomley, R. C.; Ellis, J. R. S.; Schofield, J. D. (1981): The baking quality and protein characteristics of a winter wheat grown at different levels of nitrogen fertilisation. In: *J. Sci. Food Agric.* 32 (7), S. 684–698. DOI: 10.1002/jsfa.2740320709.
- Top Agrar ONLINE (10.06.2015): Dänischer Weizen wird zum Landenhüter. Münster. Landwirtschaftsverlag GmbH, Hülsebrockstraße 2-8, 48165 Münster. Internet. Online verfügbar unter <https://www.topagrar.com/markt/news/daenischer-weizen-wird-zum-ladenhueter-9249179.html>, zuletzt geprüft am 22.12.2019.
- Triboi, E.; Abad, A.; Michelena, A.; Lloveras, J.; Ollier, J.L; Daniel, C. (2000): Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: 1. quantitative and qualitative variation of storage proteins. In: *European Journal of Agronomy* 13 (1), S. 47–64. DOI: 10.1016/S1161-0301(00)00059-9.
- Triboi, E.; Triboi-Blondel; A. M. (2002): Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem -. invited paper. In: *European Journal of Agronomy* 16 (3), S. 163–186.
- Tronsmo, K. M.; Færgestad, E. M.; Longva, Å.; Schofield, J. D.; Magnus, E. M. (2002): A Study of how Size Distribution of Gluten Proteins, Surface Properties of Gluten and Dough Mixing Properties Relate to Baking Properties of Wheat Flours. In: *Journal of Cereal Science* 35 (2), S. 201–214. DOI: 10.1006/jcrs.2001.0431.

VDLUFA (2012): Die Untersuchung der Böden. In: R. Thun und G. Hoffmann: Die Untersuchung von Böden, Band I. 4., Neubearb. u. erw. Aufl. Hg. v. Rolf Bassler. Darmstadt: VDLUFA-Verl. (Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik, (Methodenbuch) / im Auftr. des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten hrsg. von Rolf Bassler ; Bd. 1,1).

Verdebout, Jean; Jacquemoud, Stephane; Schmuck, Guido (2007): Optical Properties of Leaves: Modelling and Experimental Studies. In: Joachim Hill und Jacques Mégier (Hg.): Imaging Spectrometry, a Tool for Environmental Observations. Dordrecht: Springer Netherlands (Eurocourses: Remote Sensing Ser, v. 4), S. 169–191. Online verfügbar unter https://doi.org/10.1007/978-0-585-33173-7_10.

Weegels, P. L.; Hamer, R. J.; Schofield, J. D. (1996a): Functional Properties of Wheat Glutenin. In: *Journal of Cereal Science* 23 (1), S. 1–17. DOI: 10.1006/jcrs.1996.0001.

Weegels, P. L.; van de Pijpekamp, A. M.; Graveland, A.; Hamer, R. J.; Schofield, J. D. (1996b): Depolymerisation and Re-polymerisation of Wheat Glutenin During Dough Processing. I. Relationships between Glutenin Macropolymer Content and Quality Parameters. In: *Journal of Cereal Science* 23 (2), S. 103–111.

Wehrmann, J.; Scharpf, H. C. (1979): Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngbedarf (Nmin-Methode). In: *Plant and Soil* 52 (1), S. 109–126.

Weimar, S. (2001): Untersuchungen zur N-Düngung nach dem CULTAN-Verfahren bei Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln in Rheinland-Pfalz. In: Martin Kücke (Hg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Beiträge des Workshops. Braunschweig, 29.11.2001. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL): Landbauforschung Völknerode (Sonderheft 245), 23-44. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/zi029424.pdf, zuletzt geprüft am 09.12.2019.

Wesley, I. J.; Larroque, O.; Osborne, B. G.; Azudin, N.; Allen, H.; Skerritt, J. H. (2001): Measurement of Gliadin and Glutenin Content of Flour by NIR Spectroscopy. In: *Journal of Cereal Science* 34 (2), S. 125–133. DOI: 10.1006/jcrs.2001.0378.

Wieser, H. (1996): Relation between gliadin structure and coeliac toxicity. In: *Acta Paediatrica* 85 (s412), S. 3–9. DOI: 10.1111/j.1651-2227.1996.tb14239.x.

Wieser, H. (2007): Chemistry of gluten proteins. In: *Food microbiology* 24 (2), S. 115–119. DOI: 10.1016/j.fm.2006.07.004.

Wieser, H.; Kieffer, R. (2001): Correlations of the Amount of Gluten Protein Types to the Technological Properties of Wheat Flours Determined on a Micro-scale. In: *Journal of Cereal Science* 34 (1), S. 19–27. DOI: 10.1006/jcrs.2000.0385.

Wieser, Herbert; Seilmeier, Werner (1998): The influence of nitrogen fertilisation on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. In: *J. Sci. Food Agric.* 76 (1), S. 49–55. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199801)76:1<49::AID-JSFA950>3.0.CO;2-2.

Williams, R. M.; O'Brien, L.; Eagles, H. A.; Solah, V. A.; Jayasena, V. (2008): The influences of genotype, environment, and genotype×environment interaction on wheat quality. In: *Australian Journal of Agricultural Research* 59 (2), S. 95–111. DOI: 10.1071/AR07185.

Wrigley, Colin W. (1996): Giant proteins with flour power. In: *Nature* 381 (6585), S. 738–739. DOI: 10.1038/381738a0.

ZEIT ONLINE (07.11.2016): EU verklagt Deutschland wegen mangelnden Grundwasserschutzes. Hamburg. Internet. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2016-11/nitrat-grundwasser-deutschland-klage-eu>, zuletzt geprüft am 22.12.2019.

Zhu, J.; Khan, K. (2001): Effects of Genotype and Environment on Glutenin Polymers and Breadmaking Quality. In: *Cereal Chemistry Journal* 78 (2), S. 125–130. DOI: 10.1094/CCHEM.2001.78.2.125.

Erklärung gemäß der Promotionsordnung des Fachbereichs 09 vom
29. Mai 2019 § 17 (2)

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

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

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

Julia Hees