Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Universidad de Concepción del Uruguay

Hochschule Neubrandenburg

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Masterthesis

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science (M.Sc.)

und

Magíster binacional en Gestión de cultivos extensivos

Innerhalb des binationalen Masterstudiengangs

„Nachhaltiges Landwirtschaftliches Produktionsmanagement“

Untersuchung zur Variation von Ertrag und Qualitätseigenschaften von Speisehafer unter der Berücksichtigung von feldinternen Standortunterschieden in Mecklenburg-Vorpommern

Vorgelegt von: Alina Nowak

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2020-0017-8

April 2020

1. Prüfender: Prof. Dr. Eike Stefan Dobers
2. Prüfende: Ing. Agr. M.Sc. María Elena Olivera

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Insbesondere danke ich den folgenden Betrieben und Institutionen für die Erlaubnis, die Flächen beproben zu dürfen bzw. für die Vermittlung des Erstkontaktes zu einzelnen Betrieben und für die Unterstützung bei den z.T. sehr aufwändigen Analysen:

- Güter Brook und Christinenfeld (Herr Bosch)
- Datze Naturrind und Landschaftspflege GbR (Herr Witte)
- NORDSAAT Saatzucht GmbH, Granskevitz (Herr Beuch und Herr Lassen)
- Landboden Glasin (Frau Bruer)
- Mecklenburger Güterverwaltung (Herr Muckermann)
- Landwirtschaftlicher Betrieb Jänicke (Herr Jänicke)
- Agrargesellschaft Sarnow mbH & Co. KG (Herr Ulrich und Herr Fenske)
- Peter Kölln GmbH & Co. KGaA (Herr Kahlke, Herr Hoth und Herr Geiser)
- Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (Frau Ziesemer)
- Bauck GmbH (Herr Gabe)

Für diese Masterarbeit konnten Daten genutzt werden, die im Rahmen des 2019 von der Hochschule Neubrandenburg internen geförderten Forschungsprojektes mit dem Titel *Anschubfinanzierung zur Substantiierung von Drittmittelanträgen und Gewinnung von Pilotdaten zum Thema „Regionale Innovationsstrategie zur Entwicklung von Grundnahrungsmitteln mit nachgewiesener Gesundheitswirkung am Beispiel Hafer (Avena sativa)“* (Projektnummer 13 51 01 05) durch mich erhoben wurden.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis I

Abbildungsverzeichnis II

Tabellenverzeichnis X

1 Einleitung und Problemstellung 1

2 Literaturübersicht 3

2.1 Wirtschaftliche Bedeutung und Umfang des Haferanbaus 3

2.2 Abgrenzung von *Avena Sativa* L. zu anderen Hafer- und Getreidearten 5

2.3 Eigenschaften von Hafer 6

2.3.1 Physikalische Eigenschaften 8

2.3.2 Biochemische Qualitätseigenschaften 8

2.3.3 Zusammenhänge von Qualitätseigenschaften 10

2.4 Produktionsverfahren 11

2.4.1 Standortansprüche 12

2.4.2 Fruchtfolge 12

2.4.3 Anbaumaßnahmen 13

2.5 Precision Farming beim Anbau von Hafer 14

2.5.1 Precision Farming Technologien 15

2.5.2 Satellitenbilder und NDVI 16

3 Material und Methoden 19

3.1 Witterung im Untersuchungszeitraum 19

3.2 Probenmaterial 20

3.2.1 Auswahl der Punkte 21

3.2.2 Punktbeerntung 23

3.2.3 Kodierung der Proben 24

3.3 Bestimmung der pflanzenbaulichen Eigenschaften 24

3.3.1 Bestimmung der Bestandeshöhe und Rispendichte 24

3.3.2 Dreschen der Proben ... 24
3.3.3 Bestimmung des Ertrags ... 25
3.3.4 Bestimmung der Trockenmasse ... 25
3.4 Bestimmung der physikalischen Eigenschaften ... 26
3.4.1 Bestimmung des Tausendkorngewichts ... 26
3.4.2 Bestimmung von Korngrößenverteilung, Hektolitergewicht und Spelzanteil ... 26
3.5 Bestimmung der biochemischen Qualitätseigenschaften ... 27
3.5.1 Bestimmung des Protein- und Beta-Glucan-Gehalts$_{AAS}$ ... 27
3.5.2 Bestimmung des Beta-Glucan-Gehalts$_{NIRS}$ ... 28
3.6 Satellitenbilder und NDVI ... 28
3.7 Statistische Auswertung ... 29
4 Ergebnisse ... 31
4.1 Einfluss der Faktoren „Betrieb“, „BGSE-Standortgüte“ und „Betriebsform“ 31
4.1.1 Ertrag ... 31
4.1.2 Bestandeshöhe ... 37
4.1.3 Rispendichte ... 41
4.1.4 Tausendkorngewicht ... 47
4.1.5 Anteil der Körner > 2 mm ... 53
4.1.6 Hektolitergewicht ... 57
4.1.7 Spelzanteil ... 61
4.1.8 Beta-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ ... 64
4.1.9 Beta-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ ... 66
4.1.10 Proteingehalt ... 67
4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Varianzanalyse ... 69
4.3 Einfluss des Faktors „Sorte“ ... 71
4.4 Zusammenhänge von Eigenschaften ... 72
4.4.1 Ertrag und pflanzenbauliche/physikalische Eigenschaften ... 72

4.4.2 Biochemische Qualitätseigenschaften 81
4.4.3 Einfluss des NDVI auf den Ertrag 85
4.4.4 Einfluss der Saatstärke 90
5 Diskussion 92
5.1 Einfluss der Faktoren „Betrieb“, „Betriebsform“ und „Sorte“ 92
5.2 Einfluss der BGSE-Standortgüte 100
5.3 Zusammenhänge von Eigenschaften 105
6 Zusammenfassung 110
7 Spanische Zusammenfassung/ Resumen en español 114
Literaturverzeichnis 118
Anhang 125
Eidesstattliche Erklärung 135

Abkürzungsverzeichnis

AAS	Atomabsorptionsspektrometrie
Anteil K > 2	Anteil der Körner > 2 mm
BGSE	Biomasse gestützte Standorteinschätzung
ENBZ	spanische Übersetzung der BGSE – estimación de las variaciones internas en los niveles de biomasa de las zonas de los lotes de producción
ESA	European Space Agency
HLG	Hektolitergewicht
LFA	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
QGIS	Quantum GIS
Stk	Stück
TKG	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmasse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der weltweiten Getreideproduktion der wichtigsten Sorten im Jahr 2017 Quelle: (FAO 2017) 3
Abbildung 2: Übersichtskarte der Orte der sieben Betriebe im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern 21
Abbildung 3: Einfluss des Faktors „Betrieb“ auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05 32
Abbildung 4: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05) 33
Abbildung 5: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 1 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05) 34
Abbildung 6: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 4 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05) 34
Abbildung 7: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05) 35
Abbildung 8: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 7 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant 35
Abbildung 9: Verteilung des Ertrags [dt/ha] von Haferproben des Erntejahres 2019 nach Betriebsformen konventionell und ökologisch unterteilt (Betriebe 1 -7 eingeschlossen) 36
Abbildung 10: Verteilung der Bestandeshöhe[dt/ha] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. 38

Abbildung 11: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf die Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05)..... 39
Abbildung 12: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf die Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf Betrieb 1 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05) 39
Abbildung 13: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf die Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf Betrieb 4 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05) 40
Abbildung 14: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf die Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10) 40
Abbildung 15: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf die Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf Betrieb 7 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10) 41
Abbildung 16: Einfluss des Faktors „Betrieb“ auf die Rispendichte [Stk/m^2] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α = 0,05 43
Abbildung 17: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf die Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant 44
Abbildung 18: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf die Rispendicht [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 1 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte

kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant 45
Abbildung 19: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf die Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 4 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05) 45
Abbildung 20: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf die Rispendicht [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. n.s. = nicht signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld bei einem Niveau von α = 0,05 46
Abbildung 21: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf die Rispendicht [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 7 je Feld im Erntejahr 2019. n.s. = nicht signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld bei einem Niveau von α = 0,05 46
Abbildung 22: Verteilung der Rispendichte [Stk/m²] des Erntejahres 2019 nach Betriebsformen konventionell und ökologisch unterteilt (Betrieb 3 eingeschlossen) 47
Abbildung 23: Einfluss des Faktors „Betrieb“ auf das TKG [g] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05 49
Abbildung 24: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das TKG [g] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant..... 49
Abbildung 25: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 1 je Feld im Erntejahr 2019. n.s. = nicht signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld bei einem Niveau von α = 0,05 50
Abbildung 26: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 4 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05) 51
Abbildung 27: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen

die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05) 51
Abbildung 28: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 7 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant 52
Abbildung 29: Verteilung des TKG [g] des Erntejahres 2019 nach Betriebsformen konventionell und ökologisch unterteilt 53
Abbildung 30: Einfluss des Faktors „Betrieb“ auf den Anteil [%] an Körnern > 2,00 mm von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05 55
Abbildung 31: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Anteil [%] der Körner > 2,00 mm von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05);n.s. = nicht signifikant; T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10) 56
Abbildung 32: Einfluss des Faktors „Betrieb“ auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05 58
Abbildung 33: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05);n.s. = nicht signifikant..... 59
Abbildung 34: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 1 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05) 60
Abbildung 35: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 4 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10). 60

Abbildung 36: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10) 61
Abbildung 37: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 7 je Feld im Erntejahr 2019. n.s. = nicht signifikante Unterschiede zwischen den Standorten bei einem Niveau von α = 0,05..... 61
Abbildung 38: Einfluss des Faktors „Betrieb“ auf den Spelzanteil [%] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05..... 63
Abbildung 39: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Spelzanteil [%] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05);n.s. = nicht signifikant; T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10)..... 64
Abbildung 40: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den β-Glucan- $Gehalt_{NIRS}$ [%] von Haferproben auf den Betrieben 3 und 6 im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant 65
Abbildung 41: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den β-Glucan- $Gehalt_{NIRS}$ [%] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. n.s. = nicht signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld bei einem Niveau von α = 0,05; T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10)..... 66
Abbildung 42: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den β-Glucan-$Gehalt_{AAS}$ [%] von Haferproben auf Betrieben 1 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant; T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10) 67
Abbildung 43: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den β-Glucan-$Gehalt_{AAS}$ [%] von Haferproben auf Betrieben 7 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant 67

Abbildung 44: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Proteingehalt [%] von Haferproben auf den Betrieben 1 und 7 im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant; T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10). 68
Abbildung 45: Einfluss des Faktors „Sorte“ auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05 72
Abbildung 46: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und der Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 74
Abbildung 47: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und der Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf Betrieb 5 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 74
Abbildung 48: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 75
Abbildung 49: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 4 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 75
Abbildung 50: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des TKG [g] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 76
Abbildung 51: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 2 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 76
Abbildung 52: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 3 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 77
Abbildung 53: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Anteils [%] an Körnern > 2,00 mm von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 77
Abbildung 54: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Anteils [%] an Körnern > 2,00 mm von Haferproben auf Betrieb 3 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 78

Abbildung 55: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Anteils [%] an Körnern > 2,00 mm von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 78
Abbildung 56: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und dea HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 3 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 79
Abbildung 57: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 79
Abbildung 58: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf Betrieb 3 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 80
Abbildung 59: Zusammenhang des HLG [kg/hl] und der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 4 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 80
Abbildung 60: Zusammenhang des HLG [kg/hl] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf Betrieb 2 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 81
Abbildung 61: Zusammenhang des HLG [kg/hl] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf Betrieb 3 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 81
Abbildung 62: Zusammenhang des β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ [%] und des Ertrags [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 6 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 82
Abbildung 63: Zusammenhang des β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ [%] und des TKG [%] von Haferproben auf Betrieb 6 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 82
Abbildung 64: Zusammenhang des β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ und des Anteils [%] der Körner > 2,00 mm von Haferproben auf Betrieb 6 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 83
Abbildung 65: Zusammenhang des β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ [%] und des HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 1 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 83

Abbildung 66: Zusammenhang des β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ [%] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf Betrieb 1 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 84
Abbildung 67: Zusammenhang des Proteingehalts [%] und des Ertrags [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 1 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 84
Abbildung 68: Zusammenhang des Proteingehalts [%] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf Betrieb 1 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 85
Abbildung 69: Zusammenhang des Proteingehalts [%] und des β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ [%] von Haferproben auf Betrieb 1 und 7 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 85
Abbildung 70: Darstellung der Punktverteilung und des Vegetationsindex zur Standortgüte-Einschätzung (NDVI) auf einem Feld von Betrieb 3. Der kleine Ausschnitt illustriert die kleinräumigen Unterschiede des NDVI (Satellitenbild vom 26.06.2019) 86
Abbildung 71: Darstellung der Punktverteilung und des Vegetationsindex zur Standortgüte-Einschätzung (NDVI) auf einem Feld von Betrieb 3. Der kleine Ausschnitt illustriert die kleinräumigen Unterschiede des NDVI (Satellitenbild vom 26.06.2019) 87
Abbildung 72: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] von Haferproben und dem an Satellitenbildern vom Juni 2019 bestimmten NDVI auf sieben Betrieben; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 88
Abbildung 73: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] von Haferproben und dem an Satellitenbildern vom Juni 2019 bestimmten NDVI auf den Betrieben 1 - 5; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 89
Abbildung 74: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] von Hafer und dem an Satellitenbildern vom Juni 2019 bestimmten NDVI auf den Betrieben 6 und 7; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 90
Abbildung 75: Einfluss der Saatstärke auf den Anteil [%] der Körner > 2 mm, das HLG und den Spelzanteil von Haferproben auf den Betrieben 1, 5 und 6 im Erntejahr 2019; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05 91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anbaufläche, Erntemenge und Ertrag von Hafer in Deutschland und Mecklenburg-Vorpommern der letzten drei Jahre 4
Tabelle 2: Die wichtigsten kultivierten Arten und Unterarten der Gattung Avena 5
Tabelle 3: Anforderungen der Industrie an die physikalischen Eigenschaften von Speisehafer 8
Tabelle 4: Gehalt der verschiedenen biochemischen Qualitätseigenschaften in Haferkörnern und - flocken 10
Tabelle 5: Witterung im Untersuchungszeitraum des Jahres 2019 im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern 19
Tabelle 6: Übersicht der Lokalitäten, der angebauten Hafersorten und Datum der Probenentnahme auf den sieben Betrieben 20
Tabelle 7: Übersicht der verwendeten Luft- und Satellitenbilder zur Auswahl der Punkte durch einen Experten auf den Haferfeldern von sieben Betrieben für die Punktbeerntung 22
Tabelle 8: Übersicht der Felder, Punkte und Proben je Betrieb und der Wiederholungen je Punkt 23
Tabelle 9: Statistiken des Ertrags [dt/ha] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten 31
Tabelle 10: Statistiken des Ertrags [dt/ha] von Haferproben aus dem Erntejahr 2019 aufgeteilt in die Betriebsformen konventionell und ökologisch 36
Tabelle 11: Statistiken der Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten 37
Tabelle 12: Statistiken der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten 42
Tabelle 13: Statistiken der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben aus dem Erntejahr 2019 aufgeteilt in die Betriebsformen konventionell und ökologisch 47
Tabelle 14: Statistiken des TKG [g] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten 48

Tabelle 15: Statistiken des TKG [g] aus dem Erntejahr 2019 von punktuellen Probennahmen aufgeteilt in die Betriebsformen „konventionell“ und „ökologisch“ 52
Tabelle 16: Statistiken des Anteils [%] der Körner > 2,00 mm von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten 54
Tabelle 17: Statistiken des Anteils [%] an Körnern > 2,00 mm aus dem Erntejahr 2019 von punktuellen Probennahmen aufgeteilt in die Betriebsformen „konventionell“ und „ökologisch“ 56
Tabelle 18: Statistiken des HLG [kg/hl] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten 57
Tabelle 19: Statistiken des Spelzanteil [%] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten 62
Tabelle 20: Statistiken des β-Glucan-Gehalts$_{NIRS}$ [%] von Haferproben auf den Betrieben 3 und 6 im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten 65
Tabelle 21: Statistiken des β-Glucan-Gehalts$_{AAS}$ [%] von Haferproben auf den Betrieben 1 und 7 im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten 66
Tabelle 22: Statistiken des Proteingehalts [%] von Haferproben auf den Betrieben 1 und 7 im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten 68
Tabelle 23: Ergebnisse (p-Werte) der Varianzanalysen von den pflanzenbaulichen und physikalischen Eigenschaften nach den Faktoren Betrieb, Betriebsform, Sorte und BGSE-Standortgüte 70
Tabelle 24: Ergebnisse (p-Werte) der Varianzanalysen von den biochemischen Qualitätseigenschaften nach den Faktoren Betrieb und BGSE-Standortgüte.. 71
Tabelle 25: Zusammenhang des Ertrags mit den jeweiligen Eigenschaften (pflanzenbaulich/physikalisch) des Hafers auf den Betrieben insgesamt und auf jedem einzelnen Betrieb 73

Tabelle 26: Übersicht des statistischen Zusammenhangs des Ertrags [dt/ha] von Hafer und dem an Satellitenbildern vom Juni 2019 bestimmten NDVI auf sieben Betrieben 87

1 Einleitung und Problemstellung

„Die Landwirtschaft steht als Ganzes vor großen Herausforderungen. Als Lieferant für Nahrungsmittel, Futtermittel, Energie und Rohstoffe ist sie ein Wirtschaftszweig von grundlegender Bedeutung.“ (Noack 2019, S. 8)

Eine der größten Herausforderungen stellt die wachsende Weltbevölkerung dar. Bis zum Jahr 2100 wird ein Anstieg der Weltbevölkerung auf 11,2 Milliarden Menschen vorausgesagt. Im Vergleich dazu: im Jahr 2017 gab es insgesamt 7,6 Milliarden Menschen (United Nations 2017). Bei der Ernährung der Weltbevölkerung spielen die Landwirtschaft und die Lebensmittelindustrie eine wesentliche Rolle. Weltweit gehören Reis, Weizen und Mais zu den wichtigsten Grundnahrungsmitteln (Kilian 2012). Hafer kann zwar nicht zu den Grundnahrungsmitteln gezählt werden, dennoch wird er auf einem globalen Niveau angebaut (Stewart und McDougall 2014) und ein neuer Trend ist zu verzeichnen: vermehrte Nachfrage nach Speisehafer (Beuch et al. 2016). Dies lässt sich vor allem in Europa, aber auch weltweit beobachten. Hauptgründe dafür sind sich wechselnde Verzehrsgewohnheiten und ein steigendes Gesundheitsbewusstsein der Bevölkerung (Beuch et al. 2016). Hafer ist ein nährstoffreiches Nahrungsmittel und stellt in erster Linie Kohlenhydrate, Fette und Proteine bereit. Außerdem besitzt Hafer hohe Anteile an Antioxidantien und beta-Glucanen, deren Eigenschaften und Zusammensetzung einzigartig und ernährungsphysiologisch wertvoll sind. Beta-Glucan kann das Cholesterin im Blut und das Risiko für kardiovaskuläre Krankheiten und Atherosklerose senken (Webster und Wood 2011).

Hafer ist aber nicht nur vorteilhaft für die menschliche Ernährung, sondern auch aus landwirtschaftlicher Sicht gesehen. Aufgrund seiner Vielfältigkeit spielt Hafer eine wesentliche Rolle in landwirtschaftlichen Anbausystemen (Wrigley und Batey 2010, S. 12). In der Fruchtfolge nimmt Hafer die Position einer Gesundungsfrucht ein und schränkt das Auftreten von Fußkrankheiten in Rotationen mit Weizen und Gerste ein (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016). Hafer ist somit die einzige Getreideart mit der sich Getreide- und Rapsfruchtfolgen auflockern lassen (Deter 2016).

Bei der Produktion und Weiterverarbeitung von Hafer spielen dabei entlang der Wertschöpfungskette verschiedenen pflanzenbauliche Eigenschaften und Qualitätseigenschaften des Hafers eine wichtige Rolle (Wrigley und Batey 2010, S. 12).

Darüber hinaus variieren diese Anforderungen je nach Nutzer und Verarbeitungsstufe (Wrigley und Batey 2010, S. 12, S. 174). Die Landwirte stehen der Herausforderung gegenüber, den Anforderungen der weiterverarbeitenden Industrie gerecht zu werden. Um ein erfolgreiches Pflanzenbaumanagement umzusetzen, werden heutzutage vor allem die Anwendung von teilflächen- und standortspezifischen Bewirtschaftungsmethoden immer wichtiger. Dabei ist es eine der Hauptaufgaben, feldinterne Standortunterschiede zu identifizieren, die Bewirtschaftung an diese anzupassen und dadurch einen effizienten und umweltschonenden Einsatz von Ressourcen zu gewährleisten. Zwar finden verschiedenen Precision Farming Technologien beim Anbau von Getreide eine immer größer werdende Bedeutung, allerdings ist vor allem beim Hafer wenig über feldinterne Variation im Ertrag und einigen anderen Eigenschaften bekannt, und somit der Einsatz von Precision Farming Technologien gering.

Aufgrund dieser Problematik wurde innerhalb dieser Arbeit eine Untersuchung durchgeführt, um sowohl großräumige als auch kleinräumige Variationen im Ertrag und einigen Qualitätseigenschaften von Hafer zu erschließen. Haferproben wurden von verschiedenen Feldern von sieben landwirtschaftlichen Betrieben in Mecklenburg-Vorpommern entnommen und in Bezug auf feldinterne Standortunterschiede und weitere Faktoren wie Betrieb und Betriebsform analysiert. Dabei wurden vor allem „gute“ und „schlechte“ Standorte innerhalb eines Feldes miteinander verglichen, wobei diese Einteilung vor der Beprobung durch eine Biomasse gestützte Standorteinschätzung (BGSE) von einem Experten erfolgte. Bei der BGSE wurden durch Integration von Expertenwissen anhand von Luft- und Satellitenbildern Standorte auf Haferfeldern ausgewählten, an denen entweder besonders viel oder wenig Biomasse vermutet wurden, und die dementsprechend als „gut“ oder „schlecht“ bezeichnet wurden. Im Nachhinein wurde anhand der Bestimmung und des Vergleichs der verschiedenen Eigenschaften des Hafers überprüft, ob diese zwischen den Standorten variierten und ob die BGSE sich zur Identifizierung von ertragsstarken und ertragsschwachen Standorten eignete.

2 Literaturübersicht

2.1 Wirtschaftliche Bedeutung und Umfang des Haferanbaus

Die weltweite Produktion von Hafer betrug laut FAO im Jahr 2017 ca. 26 Millionen Tonnen. Im Vergleich dazu wurden 772 Millionen Tonnen Weizen und 147 Millionen Tonnen Gerste weltweit produziert. Global führende Länder in der Haferproduktion waren Russland (5,5 Millionen Tonnen), Kanada (3,7 Millionen Tonnen) und Australien (2,3 Millionen Tonnen). Innerhalb der EU wurden insgesamt 8,0 Millionen Tonnen Hafer produziert. Zu den führenden Ländern gehörten Polen (1,5 Millionen Tonnen), Finnland (1,0 Millionen Tonnen) und Großbritannien (0,9 Millionen Tonnen). Deutschland lag mit einer Produktion von 576.500 Tonnen auf Platz sechs innerhalb der EU (FAO 2017). Des Weiteren waren Kanada und Australien im Jahr 2019 Hauptexporteure von Hafer auf dem Weltmarkt, die USA gefolgt von China die Hauptimporteure von Hafer (Index Mundi 2019). Folgende Abbildung zeigt die Produktionsmengen der wichtigsten Getreidesorten weltweit.

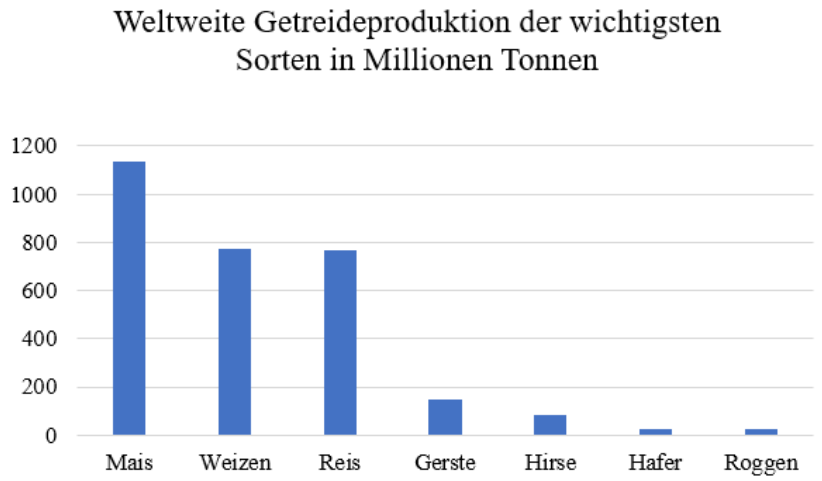


Abbildung 1: Übersicht der weltweiten Getreideproduktion der wichtigsten Sorten im Jahr 2017 Quelle: (FAO 2017)

In Deutschland stellt sich die Verteilung anders dar: Weizen und Gerste sind die Getreidesorten mit der höchsten Produktionsmenge. Hafer folgt nach Körnermais, Roggen und Triticale auf Platz 6 der wichtigsten Getreidesorten (Statistisches Bundesamt 2019a). Hafer bekommt eine besondere Bedeutung im ökologischen Landbau. Im Jahr 2014 waren insgesamt 17 % der Gesamthaferproduktion ökologisch. Bei Weizen und Gerste hingegen lag der Anteil am ökologischen Landbau bei unter 2 % (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016). Laut Statistischem Bundesamt

betrug der Haferertrag der letzten drei Jahre im Schnitt 42,4 dt/ha, wobei Weizenerträge bei 72,4 dt/ha und Gerstenerträge bei 64,9 dt/ha lagen (Statistisches Bundesamt 2019a). Die Anbaufläche von Hafer in Deutschland betrug im Jahr 2019 ungefähr 126.900 ha. Davon wurde in Mecklenburg- Vorpommern eine Fläche von 9.300 ha für den Anbau von Hafer genutzt (Statistisches Bundesamt 2019b). Unten aufgeführte Tabelle zeigt Informationen zur Anbaufläche, Erntemenge und Ertrag von Hafer in Deutschland und Mecklenburg-Vorpommern.

Tabelle 1: Anbaufläche, Erntemenge und Ertrag von Hafer in Deutschland und Mecklenburg-Vorpommern der letzten drei Jahre

	Deutschland			Mecklenburg-Vorpommern		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Anbaufläche in ha	128.100	140.400	126.900	8.000	10.000	9.300
Erntemenge in t	576.000	577.600	521.600	34.800	25.600	36.600
Ertrag in dt/ha	45,0	41,1	41,1	43,3	25,6	36,4

Quelle: (Statistisches Bundesamt 2018, 2019a, 2019b, 2019c)

In Deutschland werden nur etwa 10 % des Inlandshafers für Nahrungsmittel verwendet und die anderen 90 % werden verfüttert. Dies liegt daran, dass Qualitätshafer nicht in allen Regionen Deutschlands zu erreichen ist (Hanus et al. 2008, S. 434). Außerdem lohnt sich der Anbau von Hafer für den Landwirt häufig aus ökonomischen Gründen nicht, da Hafer oftmals mit seinem Futterwert eingestuft wird (Beuch und Stemann 2019). Aus diesen Gründen kann die Nachfrage nicht gedeckt werden und es wird bevorzugt Qualitätshafer für die Herstellung von Lebensmitteln importiert. (Hanus et al. 2008, S. 434).

Haferflocken zählen zu den wichtigsten Lebensmitteln, die aus Hafer hergestellt werden. Diese finden vor allem Anwendung in Müsli oder auch in der Weiterverarbeitung zu Porridge (Haferbrei). Da Hafer keine Kleberproteine wie Weizen hat, ist er zum Backen von Brot ungeeignet und wird nur in Mischung mit Weizen- oder Roggenmehl verwendet (Hanus et al. 2008, S. 439).

Dennoch ist der Bedarf an Hafer, vor allem in den letzten 10 Jahren, durch das wachsende Gesundheitsbewusstsein der Bevölkerung, gestiegen. In den westlichen Industrieländern

wird dieser Trend hauptsächlich von den Millennials, Personen die zwischen 1980 und 2004 geboren wurden, beeinflusst. Diese Personengruppe macht einen großen Teil der Bevölkerung aus und fragt vermehrt nach Regionalität, umweltfreundlichen und wenig verarbeiteten Produkten. Haferflocken können für solche Produkte eine gute Grundlage bilden. Deshalb ist davon auszugehen, dass sich Hafer vor allem in der Lebensmittelindustrie zunehmend zu einer Spezialfrucht entwickeln wird. Die Forderungen der Lebensmittelhersteller nach Menge und Qualität sollten abgesichert werden können (Beuch und Stemann 2019).

2.2 Abgrenzung von *Avena Sativa* L. zu anderen Hafer- und Getreidearten

Der Saathafer oder auch Spelzhafer (*Avena sativa* L.) wird wie alle anderen Getreidearten zu den Süßgräsern (*Poaceae*) gezählt (Miedaner 2014, S. 120, Diepenbrock et al. 2016, S. 192). Der größte Unterschied zwischen Hafer und anderen Getreidearten besteht darin, dass Hafer eine Rispe bildet und keine Ähre. Hafer gehört zu den Selbstbefruchtern und die Rispen besitzen an den Spitzen Ährchen mit zwei bis drei Blüten, wobei von diesen meist nur zwei fruchtbar sind. Seine Körner sind von Spelzen umhüllt, die sich beim Dreschen nicht lösen, aber bei der Weiterverarbeitung leichter geschält werden können, als dies bei der Gerste der Fall ist. Zur Gattung Avena gehören, je nach Kategorisierung, bis zu 25 Arten (Miedaner 2014, S. 120). Nachfolgend die Auflistung der wichtigsten kultivierten Arten und Unterarten.

Tabelle 2: Die wichtigsten kultivierten Arten und Unterarten der Gattung Avena

Sandhafer	*A. strigosa*	ssp. *strigosa*
		ssp. *brevis* – Kurzhafer
		ssp. *nudibrevis* – Nackthafer
Brathafer	*A. barbata*	ssp. *abyssinica* – Abessinischer Hafer
Saathafer	*A. sativa*	ssp. *sativa* – Echter Hafer, Saathafer
		ssp. *byzantina* - Mittelmeerhafer
		ssp. *nudisativa* - Nackthafer

Quelle: (Miedaner 2014, S. 122)

Avena byzantina und *Avena strigosa* werden nur in bestimmten Regionen mancher Ländern als Tierfutter angebaut (Wrigley und Batey 2010, S. 165).

Der Züchtung von Nackthafersorten wurde in den letzten Jahren nicht so viel Aufmerksamkeit geschenkt und findet nur in manchen Regionen, vor allem bei der Herstellung von Futtermitteln, statt (Poehlman 1987). Nackthafer kann vorteilhaft sein, da Transport und Lagerung durch die wegfallende Spelze einfacher sind (Webster und Wood 2011, S. 31). Darüber hinaus ist der relative Anteil an Proteinen höher, als bei Spelzhafer (Peltonen-Sainio 1994). Die Nachteile des Nackthafers, wie z.B. das geringe Korngewicht und Ertragspotenzial, die hohe Anfälligkeit für Schäden während des Dreschens und gegenüber Krankheiten, überwiegen jedoch häufig im Vergleich mit Spelzhafer. (Welch 1995, S. 521, Webster und Wood 2011, S. 39). Somit wird in Deutschland fast ausschließlich Spelzhafer angebaut (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016).

2.3 Eigenschaften von Hafer

Die Evaluation von Anbaumethoden in der Landwirtschaft erfolgt mithilfe von Daten, die auf Ertrag und Ertragskomponenten basieren (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo 2012). Der Flächenertrag von Hafer ist rechnerisch in mehrere Komponenten unterteilt. Der Ertrag ergibt sich aus der Multiplikation von Bestandesdichte (Rispen/m²), der Kornzahl/Rispe und dem Einzelkorngewicht, welches als TKG gemessen wird. Diese Komponenten sind je nach Konkurrenzsituation um Licht, Wasser und Nährstoffe unterschiedlich ausgeprägt. Durch verschiedene Anbaumaßnahmen können die Bestandesdichte und die Kornzahl/Rispe verändert und an verschiedene Situationen angepasst werden. Das TKG ist hingegen nicht so leicht beeinflussbar (Bundesamt für Ernährungssicherheit 2015). Neben diesen pflanzenbaulichen Parametern sind entlang der Wertschöpfungskette verschiedene Qualitätseigenschaften von grundlegender Bedeutung (Wrigley und Batey 2010, S. 12).

Generell gibt es viele Eigenschaften, die untersucht werden können, um einen guten Überblick über die Ertragsstruktur und die Qualität von Hafer zu gewinnen. Diese werden in der Literatur unterschiedlich kategorisiert und die Übergänge sind teilweise fließend. Peterson et al. 2005 nimmt eine Unterteilung in pflanzenbauliche Eigenschaften und physikalische Eigenschaften vor.

Dabei zählt er zu den pflanzenbaulichen Eigenschaften Ertrag, Bestandeshöhe, Standfestigkeit, Zeitpunkt des Rispenschiebens und Resistenz gegenüber Krankheiten (Peterson et al. 2005). Diese Eigenschaften sind primär beim Anbau von Hafer

von Bedeutung und hängen stark von der Bodengüte, Witterung, der Produktionsintensität und der Sorte ab (Bundesamt für Ernährungssicherheit 2015).

Wiederum gehören zu den physikalischen Eigenschaften von Hafer das Spelz- und Kerngewicht, prozentualer Anteil der Spelze, Hektolitergewicht (HLG), Tausendkorngewicht (TKG) und die Mehlausbeute (Peterson et al. 2005, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo 2012, Yan et al. 2016). Diese physikalischen Eigenschaften sind besonders bei der Weiterverarbeitung des Hafers wichtig (Peterson et al. 2005). Deshalb bestimmt zum Großteil die Industrie welche Werte sie bei diesen Eigenschaften für den Einkauf von Hafer voraussetzt und ob eine Einstufung als Futterhafer oder als Speisehafer gerechtfertigt ist. In der Literatur können dementsprechend physikalische Eigenschaften auch als physikalische Qualitätseigenschaften bezeichnet werden (Buerstmayr et al. 2007, S. 174, Wrigley und Batey 2010, S. 174). Innerhalb dieser Arbeit wird der Begriff physikalische Eigenschaften verwendet, wobei im Hinterkopf behalten werden sollte, dass hinter den physikalischen Eigenschaften aus Sicht der Industrie auch immer der Qualitätsbegriff steckt. Besonders bei der industriellen Weiterverarbeitung von Hafer wird Wert auf die Qualität dieser Eigenschaften gelegt.

Einen weiteren wichtigen Teil der Eigenschaften von Hafer machen die Inhaltsstoffe wie z.B. Fett, Proteine, Vitamine und beta-Glucan aus (Peterson et al. 2005). Diese Inhaltsstoffe werden in der Literatur und auch innerhalb dieser Arbeit zu den biochemischen Qualitätseigenschaften gezählt (Wrigley und Batey 2010, S. 174).

Bevor auf die verschiedenen Eigenschaften genauer eingegangen wird, ist ein Verständnis des Qualitätsbegriffs sehr wichtig: Qualität ist ein sehr umfangreicher Begriff und wird im Duden als „Gesamtheit der charakteristischen Eigenschaften (einer Sache, Person)“ definiert (Bibliographisches Institut GmbH 2019). Auch im landwirtschaftlichen Kontext ist Qualität ein sehr grundlegender Begriff und die Bewertung von Qualitätseigenschaften ist bei Hafer sehr umfangreich und stark vom Nutzer abhängig. Die Forderungen von Landwirten, Mühlen und Konsumenten müssen entlang der ganzen Wertschöpfungskette befriedigt werden. Der Begriff Qualität bekommt je nachdem an welcher Stufe der Wertschöpfungskette man sich befindet eine andere Bedeutung (Wrigley und Batey 2010, S. 12).

2.3.1 Physikalische Eigenschaften

Die Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften von Speisehafer können je nach Abnehmer abweichen, sind aber im Allgemeinen sehr hoch (Tab. 3). Absprache und Vertragsanbau mit Schälhafermühlen können deshalb von Vorteil sein (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016). Mikroorganismen und Mykotoxine dürfen nicht vorkommen und sobald der Fusarienbefall über 1 % liegt, wird Hafer vom Käufer als Futtermittel eingestuft (Hanus et al. 2008, S. 439, Raiffeisen Uckermark 2014). Die folgende Tabelle zeigt die Auflistung der allgemeinen Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften von Speisehafer.

Tabelle 3: Anforderungen der Industrie an die physikalischen Eigenschaften von Speisehafer

Qualitätsparameter	Einheit	Speisehafer
Kornfarbe		Unverfärbt, hell
Feuchtigkeit	%	max. 14,5
Hektolitergewicht	kg/hl	> 52 - > 55
Tausendkorngewicht	g	> 27 - > 30
Spelzgehalt	%	< 26
Schälbarkeit	%	> 95
Anteil Körner > 2,0 mm	%	> 90
Bruchkorn	%	< 1 - < 2
Schmachtkorn	%	max. 5
Fremdgetreide	%	max. 2
Auswuchs	%	max. 2
Fusarium	%	max. 1

Quelle: (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016, Hauptgenossenschaft Nord AG 2019)

Als untere Grenze des TKG wird hier ein Bereich von 27 – 30 g angegeben. Das TKG kann mittlere Werte von bis zu 45 g annehmen (Proplanta GmbH & Co. KG o.J.). Der Spelzgehalt variiert normalerweise zwischen 20 bis 40 % (Welch 1995, S. 481).

2.3.2 Biochemische Qualitätseigenschaften

Im Vergleich mit anderen Getreidesorten hat Hafer einen hohen Spelzanteil. Die Spelzen haben einen hohen Rohfasergehalt und dementsprechend ist die Verdaulichkeit von nicht entspelzten Haferkörnern gering. Dennoch hat Hafer aufgrund seiner Inhaltsstoffe in den Körnern einen hohen Nähr- und auch einen besonderen diätetischen Wert (Reiner 1983, S. 130). Er ist ein Lieferant für Kohlenhydrate, Fette und Protein (Stewart und McDougall 2014). Im Folgenden wird auf diese Inhaltstoffe genauer eingegangen.

Kohlenhydrate sind ein umfassender Begriff für viele molekulare Formen. Zu ihnen gehören Zucker, Stärke und die nicht stärkehaltigen Polysaccharide, welche die Hauptkomponente der Ballaststoffe sind (Welch 1995, S. 299). Souci et al. geben in ihren Nährwerttabellen an, dass entspelzte Haferkörner zu 56 % aus Kohlenhydraten bestehen (Souci et al. 2008). Von den Kohlenhydraten wiederum nimmt die Stärke den größten Anteil ein und ist somit der Hauptbestandteil von Haferkörnern (Welch 1995, S. 300). Ballaststoffe sind ebenfalls Teil der Kohlenhydrate und werden von Trowell als Rückstände von pflanzlichen Lebensmitteln bezeichnet, die gegenüber der Hydrolyse durch menschliche Verdauungsenzyme resistent sind. Ballaststoffe schützen vor Darmkrankheiten, Verdauungsproblemen und können dem Übergewicht vorbeugen (Trowell 1976). Die Gesamtballaststoffe lassen sich in lösliche und unlösliche Ballaststoffe unterteilen, wobei die Anteile in der Literatur stark variieren (Welch 1995, S. 302). Frølich et al. kamen innerhalb ihrer Analyse zu einem Gesamtballaststoffgehalt von 11,5 % in der Trockenmasse von Hafer und Souci et al. kamen zu 9,7 % Gesamtballaststoffe im essbarem Haferanteil (Frølich und Nyman 1988, Souci et al. 2008).

Beta-Glucan ((1 → 3),(1 → 4)- β-D-glucan)) ist Hauptbestandteil der löslichen Ballaststoffe im Hafer (Welch 1995, S. 304) und befindet sich hauptsächlich in der Zellwand des Endosperms (Ajithkunar et al. 2005). Beta-Glucan sorgt für eine hohe Viskosität in Verbindung mit Wasser und ist deshalb in Gerste beim Malz- und Brauprozess unerwünscht (Jadhav et al. 1998). In Hafer ist ein hoher Gehalt an beta-Glucan jedoch aufgrund des hohen ernährungsphysiologischen Wertes sehr erstrebenswert. Beta-Glucan trägt zur Senkung des Serum Cholesterols bei, kann kardiovaskulären Krankheiten vorbeugen und hat beim Typ-2-Diabetiker eine blutzuckersenkende Wirkung (Pomeroy et al. 2001, European Food Safety Authority 2011, Peter Kölln KGaA 2012). Dies ist vor allem auf die durch beta-Glucan erhöhte Viskosität des Darminhalts zurückzuführen (Andersson und Börjesdotter 2011). Eine Tagesdosis von ≥ 3g beta-Glucan pro Tag entspricht den Hailth Claims der EFSA und ist mit 80 g Haferflocken pro Tag (ca. 5 Esslöffel) durchaus erreichbar (European Food Safety Authority 2011, Holzapfel 2015). Der beta-Glucan-Gehalt ist in der Spelze vernachlässigbar gering und am höchsten in der Haferkleie (Welch 1995, S. 305).

Im Vergleich mit anderen Getreidearten sticht des Weiteren der hohe Rohprotein- und Rohfettgehalt heraus (Reiner 1983, S. 130). Die Proteinzusammensetzung von Hafer

ist einzigartig und wertvoll für die menschliche Ernährung. Die Globuline machen den Hauptbestandteil der Proteine im Hafer aus. Bei Reis, Mais, Weizen und Gerste haben die Prolamine den größten Anteil (Anderson 2014). Globuline haben eine cholesterinsenkende Wirkung, ähnlich wie bei Gemüse (Welch 1995, S. 465). Laut Peterson lag der Globulinanteil bei einem Versuch an drei verschiedenen Hafersorten unter abgestufter N-Dünger-Gabe bei 41,0 – 44,3 % des Gesamtproteingehalts und der Prolaminanteil bei 5,7 – 6,6 % (Peterson 1976).

Der Fettgehalt des Hafers ist wesentlich höher als der des Weizens, der Gerste und des Roggens. Während der Proteingehalt durch die N-Düngung beeinflusst werden kann, sind bei dem Fettgehalt kaum Schwankungen zu erkennen (Reiner 1983, S. 130). Die Zusammensetzung der Fettsäuren sorgt zusätzlich für den hohen ernährungsphysiologischen Wert von Hafer und ist außerdem wünschenswert um eine breiige Konsistenz im Porridge zu erhalten. Dennoch sollte bei der Lagerung von Hafer darauf geachtet werden, dass keine Ranzigkeit eintritt (Webster und Wood 2011, S. 143).

Tabelle 4: Gehalt der verschiedenen biochemischen Qualitätseigenschaften in Haferkörnern und - flocken

Name des Inhaltsstoffes	Einheit	Ergebnisse der Bestimmungen	Quelle
Kohlenhydrate	g/100 g entspelzter Hafer	55,7	(Souci et al. 2008)
Beta-Glucan	Bespelzte Körner, % der TM	2,5 – 3,0	(Andersson und Börjesdotter 2011)
	Entspelzte Körner, % der TM	4,66	(Cho und White 1993)
	Entspelzte, gemahlene Körner, % der TM	2,85 – 6,77	(Redaelli et al. 2013)
Protein	g/100 g entspelzter Hafer	9,91	(Souci et al. 2008)
	g/100 g Haferflocken	14	Peter Kölln GmbH & Co. KGaA
Fett	g/100g entspelzter Hafer	7,09	(Souci et al. 2008)

2.3.3 Zusammenhänge von Qualitätseigenschaften

Paccapelo et al. betonen die Wichtigkeit eines Verständnisses der Zusammenhänge von Eigenschaften bei landwirtschaftlichen Kulturen. Korrelationen sollten vor allem bei der Züchtung bekannt sein, da die Veränderung einer Eigenschaft wiederum Auswirkungen

auf andere Eigenschaften haben kann. Insbesondere negative Korrelationen können den Verbesserungseffekt der Züchtung neutralisieren (Paccapelo et al. 2017).

Peltonen et. al untersuchten Zusammenhänge von 13 morpho-physiologischen Eigenschaften an 29 Hafersorten in zwei Jahren. Unterschiede von Proteinkonzentrationen, Rohfettgehalt und Ballaststoffgehalt waren signifikant zwischen den Sorten. Sie berichten von einer negativen Korrelation zwischen Proteinkonzentration und dem Harvest Index und der Bestandeshöhe. Die Korrelation zwischen Rohfettgehalt und Bestandeshöhe war positiv. Eine negative Korrelation wurde im ersten Jahr zwischen Rohfettgehalt und Harvest Index festgestellt. Der Ballaststoffgehalt war in beiden Jahren negativ mit der Bestandeshöhe und dem Protein- und Fettgehalt korreliert (Peltonen-Sainio und Peltonen 1993). Peltonen-Saino et al. fanden keinen Zusammenhang zwischen Ertrag und Proteingehalt, während Welch und Yong hingegen eine negative Korrelation zwischen Proteinen und Ertrag beobachteten (Welch und Yong 1980). Des Weiteren beschreiben Beuch et al. 2016 eine negative Beeinflussung des HLG durch eine zu hohe Bestandesdichte. Das HLG wiederum kann den Spelzgehalt positiv beeinflussen: ein höheres HLG führt normalerweise zu einem niedrigeren Spelzanteil (Doehlert et al. 2006)

2.4 Produktionsverfahren

Ein Produktionsverfahren ist laut KTBL ein „Prinzip und technische Ausgestaltung eines Verfahrens zur Herstellung von einem oder mehreren Produkten definierter Qualität; Kombination von Arbeitsverfahren, Betriebsmitteln und Rechten zur Erstellung von Leistungen.“ (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 2013). Dabei hängen die eingesetzten Betriebsmittel von der Wirtschaftlichkeit ab, und die Produktionsintensität leitet sich aus verschiedenen Faktoren ab. Zu diesen gehören vor allem die natürlichen Standortbedingungen wie z. B. die Wasserversorgung, der Befallsdruck durch Krankheiten, Ertrags- und Qualitätssicherheit durch standortangepasste Sortenwahl und die Marktbedingungen wie z. B. Erzeugerpreise und Transportwege (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016). In den folgenden Unterkapiteln sind Standortansprüche von Hafer, Empfehlungen für die Fruchtfolge und Anbaumaßnahmen zusammengefasst.

2.4.1 Standortansprüche

Klima, Witterung, Bodeneigenschaften und die Maßnahmen der Bewirtschaftung sind je nach Standort unterschiedlich. Um gute Erträge zu erzielen ist von daher die Einbeziehung des Standortes essenziell (Kolbe 2013).

Hafer hat im Vergleich zu anderen Getreidearten nicht so hohe Ansprüche an den Boden. Ein kühles und feuchtes Klima ist jedoch für seine Entwicklung vorteilhaft (Buerstmayr et al. 2007), so kann Hafer bei ausreichender Wasserversorgung auch auf schlechteren Böden gedeihen. In Deutschland wird überwiegend Sommerhafer auf Standorten mit ausreichend Niederschlag angebaut (Diepenbrock et al. 2016, S 192). Hafer bildet ein ausgeprägtes Wurzelsystem, besitzt dadurch ein gutes Aufschließungs- und Aneignungsvermögen von Nährstoffen, und ist außerdem tolerant gegenüber sauren pH-Werten des Bodens. Allerdings regiert Hafer von den Getreidearten am sensibelsten auf Spurenelementmangel (Cu und Mangan), deshalb sollte auf Moorböden und armen Sandstandorten eine Applikation durch Düngung bedacht werden (Reiner 1983, S. 29-30, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016).

2.4.2 Fruchtfolge

In der Fruchtfolge kann Hafer besondere Vorteile einbringen, da er die Position einer Gesundungsfrucht einnimmt und enge Getreide- und Rapsfruchtfolgen auflockert (Brockerhoff 2018). Gesundungsfrucht wird Hafer deshalb genannt, weil er das Auftreten von Fußkrankheiten in Fruchtfolgen mit Weizen- und Gerste mindert. Er ist resistent gegenüber der Schwarzbeinigkeit (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) und dem Parasitären Halmbruch (*Pseudocercosporella herpotrichoides*) (Hanus et al. 2008, S. 446). Aufgrund seiner Anspruchslosigkeit und seinem gut ausgeprägten Wurzelsystem steht Hafer in der Fruchtfolge häufig nicht an der besten Position und wird als abtragende Frucht nach Getreide eingesetzt (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2018). Häufig macht sich das an niedrigeren Erträgen im Vergleich mit Weizen und Gerste bemerkbar (s. Kapitel 2.1). Dennoch haben Sortenversuche der LfL ergeben, dass unter günstigen Bedingungen auch überdurchschnittliche Erträge von 70 dt/ha möglich sind (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2018). Aufgrund seiner kurzen Vegetationszeit und geringen Reaktionen auf verschiedene Vorfrüchte, kann Hafer mühelos in die Rotation eingebaut werden. Probleme könnten sich nur in Verbindung mit Sommergerste und dem Infektionsrisiko von Haferzystenälchen (*Heterodera avenae*) ergeben (Hanus et al. 2008, S. 447). Die Ausbreitung von Hafernematoden stellt generell

eine Gefahr dar und deshalb sollte Hafer mit Pausen von 4 Jahren angebaut werden (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016, Landesanstalt für Landwirtschaft o.J.) Hafer erzielt die höchsten Erträge nach einer Blattfrucht, eine optimale Fruchtfolge wäre mit einem höheren Anteil fußkrankeitsgefährdeten Arten Blattfrucht – Hafer – Winterweizen – Sommergerste (Reiner 1983, S. 39).

2.4.3 Anbaumaßnahmen

Die verschiedenen Anbauverfahren von Kulturpflanzen auf ein- und demselben Feld sind Teil des Produktionsverfahrens eines Betriebes, und lassen sich wiederum unterteilen in verschiedene Anbaumaßnahmen (Aufhammer 1998, S. 110-110). Die Anbaumaßnahmen im Getreidebau sollen für eine bestmögliche Ertragsbildung und Qualität der Ernteprodukte sorgen (Hanus et al. 2008, S. 80). Auch für Hafer gibt es Empfehlungen für Saatzeit, Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz.

Als Saatzeit eignet sich besonders eine frühe Saat, da Hafer so besser bestocken, von der Winterfeuchtigkeit profitieren, und sein Ertragspotential am besten ausschöpfen kann. Die Empfehlungen für die Saatstärke liegen bei frühen Saatterminen Anfang März bei 260 bis 300, bei normalen Saatterminen im März bei 300 bis 330, bei späten Saatterminen bei 330 bis 360 keimfähigen Körnern pro Quadratmeter. Als Saattiefe eignen sich aufgrund der hohen Spelzgehalte und eines erhöhten Keimwasserbedarfs 3 bis 4 cm (Brockerhoff 2018).

Ob ein Pflug zur Bodenbearbeitung eingesetzt werden sollte, hängt von den Standortbedingungen ab. Ziel ist eine einheitliche, nicht zu feinkrümelige und geringfügig rückverfestigte Bodenstruktur im Bereich der Saattiefe (Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg 2017). Die Herbst- bzw. Winterfurche muss auf jeden Fall erfolgen, da Hafer im Frühjahr früh gesät wird (Hanus et al. 2008, S. 447).

Auf Grund der neuen Düngeverordnung müssen im Vorhinein der genaue Düngebedarf ermittelt werden. Hafer entzieht pro 10 dt Korn im Durchschnitt 8/3 kg Phosphat (P_2O_5) und 6/17 kg Kali (K_2O), ähnlich wie Gerste und Triticale. Eine Haferernte mit 50 dt/ha entzieht demnach bei Strohabfuhr dem Boden 55 kg Phosphat und 125 kg Kali pro Hektar. Eine Kalkung ist meist nicht notwendig, da Hafer mit schwach sauren Böden gut zurechtkommt, so dass eine Ausgleichskalkung innerhalb der Fruchtfolge meistens ausreichend ist. Problematisch ist eher eine zu hohe Kalkversorgung, da dies zu Manganmangel führen kann. Des Weiteren ist eine ausreichende Magnesiumversorgung

wichtig und eine Applikation muss vor allem auf leichten Standorten bedacht werden (Landesanstalt für Landwirtschaft o.J.). Der Bedarf an N (Stickstoff) ergibt sich aus den Ertragserwartungen. Der N-Gehalt ist bei Hafer im Vergleich mit Weizen zu 1,4 bis 1,8 % verringert, da Hafer mitsamt den Spelzen geerntet wird. Die N-Düngung wird in zwei Gaben aufgeteilt, Zwei Drittel werden zum Zeitpunkt der Saat gegeben und der Rest zum Zeitpunkt des Schossens (EC 30/31) (Hanus et al. 2008, S. 454).

Blattkrankheiten treten bei Hafer kaum auf und deshalb ist ein Fungizideinsatz meist nicht nötig (Landesanstalt für Landwirtschaft o.J.) Bei der Bekämpfung von Unkräutern können eine Winterfurche und Saatbettbereitung sinnvoll sein. Durch sie werden die meisten Unkräuter abgetötet und die in der oberen Bodenschicht befindlichen Unkrautsamen beginnen zu keimen. Die aufgelaufenen Pflanzen können im Anschluss mit Blindegge, Egge oder Striegel (3 bis 4-Blattstadium) mechanisch vernichtet werden (Hanus et al. 2008, S. 455).

Bei der Bekämpfung von Nematoden, wie dem Getreidezystenälchen (*Heterodera avenae*), sind keine chemischen Mittel zugelassen. Eine geregelte Fruchtfolge und verlängerte Anbaupausen von 5 – 6 Jahren sind die besten Schutzmaßnahmen. Schäden durch Fritfliegen (*Oscinella Frit*) können durch eine frühe Saat eingedämmt werden, da der Hafer so noch vor der Masseneiablage im Mai mit allen Trieben über das vierte Blatt hinaus ist (Hanus et al. 2008, S 458-460).

2.5 Precision Farming beim Anbau von Hafer

Precision Farming wird allgemein als ein auf Informationen und Technologien basierenden landwirtschaftlichen Managementsystem definiert, das Heterogenität innerhalb eines Feldes identifizieren und analysieren soll, mit Hinblick auf eine Verbesserung der Profitabilität, Nachhaltigkeit und Schutz der natürlichen Ressourcen (Singh 2010). Die Ressourcen sollen dabei effizient genutzt und die Umwelt durch eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung der Felder geschützt werden (Honkavaara et al. 2013). Diese Ziele von Precision Farming sind zwar nicht unbedingt neu, aber es sind immer neuere Technologien zur Umsetzung dieser Ziele verfügbar (Singh 2010). Dabei muss vor allem darauf geachtet werden, dass Precision Farming kein universelles „Allheilmittel“ ist, sondern immer im Kontext von Betrieb, Betriebsstruktur, Schlaggröße, Böden, Klima und Fruchtfolge betrachtet werden muss (Noack 2019, S. 17).

Es sind viele Studien über die Anwendung von Precision Farming Technologien bei den großen Kulturen wie Weizen, Mais und Soja vorhanden. Die Forschung und Anwendung dieser Technologien sind bei Hafer noch nicht so weit fortgeschritten (Nowak 2019). Dennoch werden im Folgenden einige Technologien vorgestellt, die bereits Anwendung beim Anbau von Hafer finden.

2.5.1 Precision Farming Technologien

Eine sehr gängige Methode, um den Landwirt auf Unterschiede innerhalb seines Feldes aufmerksam zu machen, sind Ertragskarten. Mit ihrer Hilfe ist eine optische Darstellung der Ertragsverteilung möglich (Hufnagel 2004).

Usowics et al. haben verschiedenen Karten für ein Haferfeld von 200 * 50 m erstellt. Sie haben die Zusammensetzung der Böden, Wassergehalt, Kationenaustauschrate, die organische Masse und den Ertrag des Feldes optisch in 2-D-Karten dargestellt. Diese Karten haben sich als hilfreich erwiesen um die Verteilung der verschiedenen Eigenschaften innerhalb eines Feldes zu analysieren. In Verbindung mit dem Wissen, welchen Einfluss diese Eigenschaften auf das Pflanzenwachstum haben, konnten Standorte mit hohem, mittlerem und niedrigem Ertrag identifiziert werden und die Bewirtschaftung diesen Zonen angepasst werden (Usowicz und Lipiec 2017).

Ein weiteres Werkzeug, welches Precision Farming in die Praxis umsetzt, sind optische Sensoren. Sie dienen der Erkennung von Heterogenität in Vegetationsbeständen. Die grundlegende Technologie dahinter sind Indexwerte, die anhand von 2-3 Spektralbändern berechnet werden und in Zusammenhang mit der Biomasse oder ähnlichen Vegetationsindikatoren gesetzt werden (Lilienthal 2014). Ein Beispiel für einen optischen Sensor ist das Chlorophyllmeter. Es verrechnet Wellenlängen im Rot- und Nahinfrarotberiech, umso auf den Chlorophyllgehalt in den Pflanzen rückschließen zu können. In vielen wissenschaftlichen Studien wurde eine positive Korrelation zwischen Chlorophyll- und Sickstoffgehalt der Pflanzen festgestellt, allerdings können die Ergebnisse leicht durch Wasserstress, Insektenfraß und andere abiotische Faktoren beeinflusst werden und müssen deshalb immer im Kontext betrachtet werden (Zhao et al. 2015).

Auch die Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) haben sich in den letzten Jahren als nützlich erwiesen und können eine kostengünstigere Alternative im Vergleich mit Satellitenbildern darstellen (Jannoura et al. 2015). Vorteile sind vor allem die hohe

räumliche Auflösung der aufgenommenen Bilder, die zeitliche Flexibilität des Einsatzes und die nach Bedarf veränderbare Flughöhe (Zhang und Kovacs 2012). In einer Studie der Universität Kassel wurde mithilfe eines Hexacopters und den damit aufgenommenen Luftbildern, der Vegetationsindix Normalised Green-Red Difference Index (NGRDI) berechnet. Daraufhin wurde der Zusammenhang von Biomasse, leaf area index (LAI) und dem NGRDI an Hafer und Erbsen untersucht. Der NGRDI hat keinen Unterschied zwischen den Kulturen feststellen können, allerdings waren die Werte signifikant und positiv mit der Biomasse der Pflanzen korreliert. Es gab keine Korrelation zwischen LAI und NGRDI, obwohl es einen positiven Zusammenhang zwischen Biomasse und LAI gab (Jannoura et al. 2015). Dies könnte an der Sättigung des NGRDI ab einer bestimmten Biomasse liegen (Hunt et al. 2014).

Ein weiterer Versuch, speziell auf Hafer abgestimmt, wurde 2012 und 2013 in Schweden durchgeführt, um die Variationen des Gehaltes an Deoxynivalenol (DON) innerhalb eines Feldes zu modellieren (Söderström et al. 2014). DON ist ein Mykotoxin und wird zum größten Teil von *Fusarium graminearum* und *Fusarium culmorum* gebildet (Obst und Gehring 2002) und hat sowohl akute als auch chronische Effekte auf die Gesundheit von Mensch und Tier (Franz et al. 2009). Mithilfe einer Messung der DON-Konzentrationen auf den Feldern, der elektrischen Leitfähigkeit, topographischen Daten und NDVI-Werten wurde ein Modell entwickelt um DON-Variation innerhalb eines Feldes vorhersagen zu können. Aus den erhobenen Daten konnte ein valides Modell abgeleitet werden und die Variationen innerhalb eines Feldes waren ausschlaggebend für die Vorhersage von DON-Konzentrationen (Söderström et al. 2014).

2.5.2 Satellitenbilder und NDVI

Die Verwendung von Satellitenbildern kann ebenfalls als Teil der Precision Farming Technologien verstanden werden. Zu den bekanntesten Erdbeobachtungsatelliten gehören die Sentinel-Satelliten der ESA (European Space Agency) und die Landsat-Satelliten der NASA (National Aeronautics and Space Administration). Satellitenbilder von Landsat können kostenlos online über den Landsat Look Viewer und Satellitenbilder von Sentinel über die Scihub Plattform des Copernicus Programms eingesehen und heruntergeladen werden (Europäische Weltraumorganisation o.J., National Aeronautics and Space Administration o.J.). Copernicus ist ein Programm der Europäischen Union, das der Erdbeobachtung dient und Informationsdienste und Satellitenbilder bereitstellt (Copernicus o.J.)

Sind die Satellitenbilder heruntergeladen, können sie daraufhin mit Geographischen Informationssystemen (GIS) weiterverarbeitet werden. GIS dienen im Allgemeinen dazu, Daten mit Raumbezug zu verändern, zu analysieren und darzustellen. So sollen letztendlich raumbezogenen Fragestellungen beantwortet und eine Entscheidungshilfe geboten werden (Noack 2019, S. 95).

Quantum GIS (QGIS) ist ein frei verfügbares Geoinformationssystem, mit dem solche Fragestellung beantwortet werden können. Rasterdaten können in das Programm geladen und weiterverarbeitet werden. Auch Vektordaten können weiterverarbeitet oder erstellt werden. Satellitenbilder gehören zu den Rasterdaten. Nach dem Laden kann anhand der Satellitenbilder der Vegetationsindex Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) berechnet werden.

Der NDVI ist ein sehr bedeutender Vegetationsindex in der Landwirtschaft. Viele Studien haben ergeben, dass sich Vegetationsindices, darunter auch der NDVI, dazu eignen, um Rückschlüsse auf die Pflanzenentwicklung, den Stress oder den Ertrag von Pflanzenbeständen zu ziehen (Labus et al. 2010). Dies erfolgt durch die Ermittlung des Rückstreuverhalten der Bestandesoberfläche, denn je grüner der Pflanzenbestand ist, desto weniger wird rotes Licht reflektiert (Schellberg und Kühbauch 1991, Sticksel et al. 2003). Der NDVI berechnet sich aus dem Verhältnis der Reflektion im nahen Infrarot Bereich abzüglich der Reflektion im roten Bereich und der Summe aus den beiden Reflektionen. Die Differenz zwischen den Wellenlängen wird „normalisiert“ indem sie auf die Summe der Wellenlängen bezogen wird. Durch diese „Normalisierung“ kann der NDVI verlässlichere Ergebnisse bereitstellen, als ein einfaches Verhältnis der Wellenlängen (Heege 2013).

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Quelle: Noack 2019

Der NDVI kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen, wobei in der Praxis Werte von 0 bis 1 üblicher sind. Je mehr die Oberfläche mit grünen Pflanzen bedeckt und je größer der Chlorophyllgehalt ist, desto näher liegt der Wert an 1 (Noack 2019). Sandige, steinige oder mit Schnee bedeckte Gebiete werden durch einen NDVI $\leq$ 0,1 repräsentiert. Auf Grasland zeigt der NDVI Werte zwischen 0,2 - 0,3 und auf üppigen Pflanzenbeständen oder Tropenwäldern Werte von 0,5 bis fast 1 (Heege 2013).

Allerdings stößt auch der NDVI manchmal an seine Grenzen und sollte immer im Kontext betrachtet werden. Wird der NDVI an Pflanzenbeständen, die sich noch in einer sehr frühen Entwicklungsphase befinden, ermittelt, sind die Ergebnisse häufig inkonsistent und zur Ertragsvorhersage ungeeignet (Labus et al. 2010). Wird der NDVI zeitlich zu nah an der Abreife des Pflanzenbestandes gemessen, ist seine Aussagefähigkeit ebenfalls geschwächt, da die Pflanzen mit zunehmender gelber Färbung immer mehr rotes Licht reflektieren und die NDVI Werte somit kleiner werden (Schellberg und Kühbauch 1991). Häufig wird der NDVI genutzt, um auf Ertragsparameter wie zum Beispiel den LAI zu schließen. Ein häufiges Problem ist dabei die Sättigung des NDVI ab einem bestimmten Wert des LAI. Schellberg et. al sprechen von einer Sättigung des NDVI ab einem LAI von 3 bei Winterweizen (Schellberg und Kühbauch 1991). Da allerdings Haferbestände normalerweise schütterer ausfallen als Winterweizenbestände ist das Sättigungsproblem bei Hafer womöglich geringer (Weissteiner 2003).

3 Material und Methoden

Die Untersuchung wurde im Jahr 2019/2020 durchgeführt und bezieht sich auf Probenmaterial von Hafer (*Avena sativa* L.) der Anbauperiode Februar/ März - August 2019.

3.1 Witterung im Untersuchungszeitraum

Als Untersuchungsregion wurde Mecklenburg-Vorpommern gewählt, wo im Jahr 2019 der durchschnittliche Jahresniederschlag 580,8 mm und die durchschnittliche Jahrestemperatur 10,4 °C betrug. Die monatlichen Durchschnittswerte der Anbaumonate Februar – Juli 2019 sind vergleichend mit den Durchschnittswerten dieser Monate aus der Referenzperiode 2009 - 2018 in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5: Witterung im Untersuchungszeitraum des Jahres 2019 im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern

	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	Jahresmittel 2019/Mittel der Referenzperiode 2009 - 2018
Niederschlag (mm) 2019	25,5	51,6	13,9	37,5	72,0	51,1	580,8
Niederschlag (mm) Referenzperiode 2009 - 2018	32,1	35,7	28,4	49,4	65,2	82,8	614,8
Temperatur (°C) 2019	4,5	6,4	9,3	11,3	19,8	18,2	10,4
Temperatur (°C) Referenzperiode 2009 - 2018	0,7	4,0	8,8	13,1	15,9	18,6	9,3

Quelle: (Deutscher Wetterdienst 2020)

Zu beachten ist vor allem die Kombination der hohen Temperaturen im Juni 2019 und des darauffolgenden sehr trockenen Monats Juli. Laut Deutschem Wetterdienst war Deutschland im Juni noch nie „wärmer und sonniger“ als im Jahr 2019 (Deutscher Wetterdienst 2019a). Im letzten Juli-Drittel ereignete sich zudem eine Hitzewelle und es wurden Temperaturhöchstwerte von über 40 °C in ganz Deutschland verzeichnet, vor allem in Mecklenburg-Vorpommern lag der Niederschlag weit unter dem Soll (Deutscher Wetterdienst 2019b).

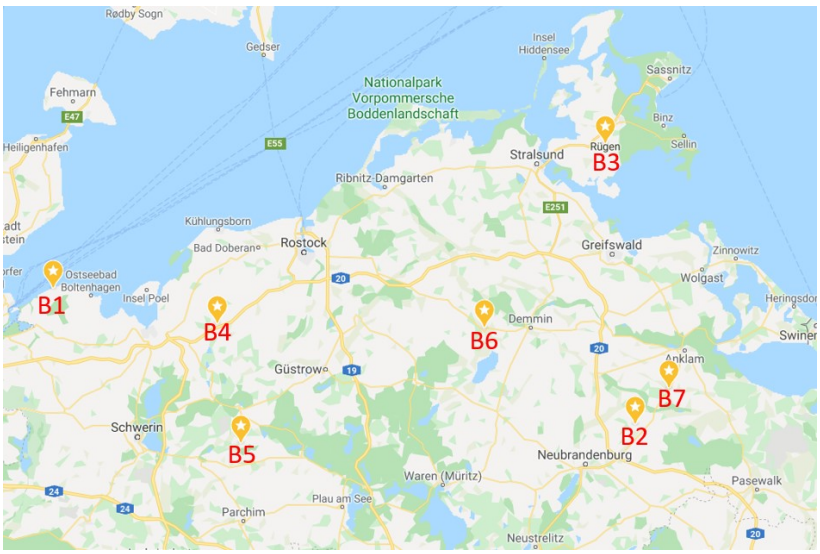
3.2 Probenmaterial

Es wurden 304 Haferproben verschiedener Sorten für die Untersuchung verwendet. Die Probenschnitte stammten von verschiedenen Haferfeldern sieben landwirtschaftlicher Betriebe in Mecklenburg-Vorpommern, die Haferfelder für die Beprobung zur Verfügung stellten. Es wurden erfahrene Landwirte ausgewählt, von denen fünf konventionell und zwei ökologisch bewirtschafteten. Bei der Vermittlung und Auswahl der Betriebe waren die Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA), die Firma Bauck GmbH und NORDSAAT Saatzucht GmbH beteiligt. Als Zeitraum der Probenentnahme wurde die Woche vor der Ernte ausgewählt.

Tabelle 6: Übersicht der Lokalitäten, der angebauten Hafersorten und Datum der Probenentnahme auf den sieben Betrieben

Betriebs-nummer	Betriebsform	Lokalität	Hafersorten	Datum Probenentnahme
1	ökologisch	Brook	Max, Apollon	26.07.2019
2	ökologisch	Datzetal	Max	19.07.2019
3	konventionell	Insel Rügen	Ivory	20.07.2019
4	konventionell	Glasin	Max	24.07.2019
5	konventionell	Wamckow	Max, Delfin	26.07.2019
6	konventionell	Dargun	Ivory	25.07.2019
7	konventionell	Sarnow	Poseidon	25.07.2019

Die Abbildung stellt eine Übersichtskarte dar, die den Ort des jeweiligen Betriebes (B1 – B7) im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern zeigt.



Quelle: Kartendaten ©2020 GeoBasis-DE/BKG ©2009 Google (Google Maps 2020)

Abbildung 2: Übersichtskarte der Orte der sieben Betriebe im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern

3.2.1 Auswahl der Punkte

Die Punkte auf den Feldern der Betriebe, an denen die Haferproben entnommen wurden, sind vorab von einem Experten anhand von Luft- und Satellitenbildern ausgewählt worden. Herr Prof. Dr. Dobers der Hochschule Neubrandenburg identifizierte mithilfe seines Expertenwissens im Pflanzenbau und der Fernerkundung Standorte auf den Feldern, an denen er besonders viel oder besonders wenig Biomasse vermutete. So wurde die Hälfte der Punkte nach „guten“ Standorten (an denen viel Biomasse vermutet wurde) und die andere Hälfte nach „schlechten“ Standorten (an denen wenig Biomasse vermutet wurde) ausgewählt. Diese Einschätzung der Standorte erfolgte zum Großteil mithilfe einer subjektiven Einschätzung des Experten der True Color Images (TCI) von Sentinel 2 Satellitenbildern und teilweise wurde anhand der Satellitenbilder außerdem der NDVI berechnet (Dobers 2019). In der weiteren Arbeit wird die Experten-gestützte Einschätzung der Standorte in „gut“ und „schlecht“ als Biomasse gestützte Standorteinschätzung (BGSE) bezeichnet.

Tabelle 7: Übersicht der verwendeten Luft- und Satellitenbilder zur Auswahl der Punkte durch einen Experten auf den Haferfeldern von sieben Betrieben für die Punktbeerntung

Betrieb	Art des Bildes	Name des Satelliten/Anbieter	Aufnahmezeitpunkt des Bildes	Methode	
				Subjektive Einschätzung des TCI	Berechnung des NDVI
B1	SB	Sentinel 2	04.07.2018	X	
	SB	Sentinel 2	29.06.2019	X	X
B2	SB	Sentinel 2	06.06.2018	X	
B3	SB	Sentinel 2	06.06.2019	X	
		Sentinel 2	29.06.2019		X
B4	SB	Sentinel 2	04.07.2018	X	
B5	SB	Sentinel 2	04.07.2018	Nicht bekannt	
B6	SB	Sentinel 2	06.06.2018	X	
		Sentinel 2	26.06.2019	X	X
B7	LB	Bing Maps	vor 2018	X	

SB = Satellitenbild, LB = Luftbild

Quelle: mündliche und schriftliche Informationen zur BGSE von Herrn Prof. Dr. Dobers 2019/2020

Es wurde darauf geachtet, dass auf jedem Feld die Punkte so ausgewählt wurden, dass nach BGSE gut und schlecht eingeschätzte Standorte in gleicher Menge vorhanden waren. Im Ergebnisteil dieser Arbeit sind dementsprechend mit guten und schlechten Standorten die vorab durch den Experten nach BGSE ausgewählten Standorte gemeint. Die Koordinaten der Punkte wurden in GPS-Geräten hinterlegt, damit sie auf den Feldern mit einer Genauigkeit von 2 m angesteuert werden konnten. Insgesamt wurden 78 Punkte zur Beprobung ausgewählt, von denen aufgrund von Wetterbedingungen 76 Punkte tatsächlich beprobt werden konnten. Tabelle 8 zeigt, wie viele Felder und wie viele Punkte je Betrieb beprobt wurden, und wie viele Wiederholungen je Punkt durchgeführt wurden.

Tabelle 8: Übersicht der Felder, Punkte und Proben je Betrieb und der Wiederholungen je Punkt

Betriebs-nummer	Felder je Betrieb	Punkte je Betrieb	Punkte je Feld	Wiederholungen je Punkt	Proben je Betreib
1	2	16	8	4	64
2	1	6*	6*	4	24*
3	1	8	8	4	32
4	2	16	8	4	64
5	1	8	8	4	32
6	2	10	6 auf Feld 1 4 auf Feld 2	4	40
7	2	12	6	4	48

* auf Betrieb 2 waren ursprünglich 8 Punkte (32 Proben) zur Probenentnahme vorgesehen, aufgrund von Wetterbedingungen konnten allerdings nur 6 Punkte beprobt werden

Insgesamt wurden 304 Proben von elf Feldern entnommen und zur Untersuchung weiterverwendet. Des Weiteren waren von Betrieb 1, 5 und 6 Informationen zur Saatstärke verfügbar. Auf Betrieb 1 wurden 320 Körner/m², auf Betrieb 5 wurden 280 Körner/m² und auf Betrieb 6 300 Körner/m² gesät. Auf Betrieb 1 stammten die meisten Proben von der Sorte Max, lediglich drei Punkte fielen in den Bereich der Sorte Apollon. Auf Betrieb 5 wurde zum größten Teil die Sorte Max angebaut. Lediglich ein Punkt fiel in den Bereich der Versuchsparzelle, auf der die Sorte Delfin angebaut wurde.

3.2.2 Punktbeerntung

Auf den Probenfeldern wurde an jedem der 76 Punkte, in einem nach Augenmaß abgeschätzten Umfang von 5 Metern, vier Probenstellen gewählt, an denen Haferproben abgeschnitten und entnommen wurden. Es wurden demnach an jedem der 76 Punkte vier Haferproben entnommen, bedeutet vier Wiederholungen durchgeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Pflanzen der Wiederholungen eines Punktes, aus unterschiedlichen Saatreihen stammten. Die Haferproben wurden auf rechteckigen Flächen abgeschnitten. Die Breite der Probenflächen war je nach Probe unterschiedlich groß, da jeweils zwischen 7 bis 12 nebeneinander liegende Reihen Hafer entnommen wurden und auch der Reihenabstand auf den verschiedenen Feldern unterschiedlich war. Je nach optischer Einschätzung der Pflanzenmasse wurden mehr oder weniger Reihen Hafer je Probe abgeschnitten, um ein für spätere Analysen ausreichendes Probenmaterial zu generieren. Die Länge der Probenfläche betrug bei jeder Probe einen Meter. Es wurde mit Zollstock gemessen, der an die Reihen gelegt wurde. Für den Schnitt wurden

Gartenscheren verwendet, um die Pflanzen 2 – 10 cm über der Bodenoberfläche abzuschneiden. Jede Probe wurde fest mit einem Faden zusammengebunden und mit einer eindeutigen Kodierung versehen. Es wurden sowohl die Reihen gezählt (7 -12), die je Probe abgeschnitten wurden, als auch der Reihenabstand. So konnte im Nachhinein auf die Breite der Probenfläche rückgeschlossen werden und die jeweilige Probenfläche berechnet werden. Dies war vor allem für Bestimmung von Eigenschaften notwendig, die sich auf die Fläche beziehen, wie z. B. der Ertrag und die Rispendichte. Die Proben wurden in das Gewächshaus der Hochschule transportiert.

3.2.3 Kodierung der Proben

Jeder Probe wurde eine eindeutige Kodierung beigefügt, die für alle Untersuchungsschritte gleich blieb. Die Kodierung setzte sich zusammen aus einem B für Betrieb, gefolgt von der jeweiligen Betriebsnummer (1-7), einer Nummer für den Punkt, an dem die Probe entnommen wurde und einer Nummer für die Wiederholung (1-4). B2-6-3 steht zum Beispiel für die Probe, die auf Betrieb zwei, an Punkt sechs in der dritten Wiederholung entnommen wurde.

3.3 Bestimmung der pflanzenbaulichen Eigenschaften

An pflanzenbaulichen Eigenschaften wurden die Bestandeshöhe, die Rispenanzahl und der Ertrag erfasst.

3.3.1 Bestimmung der Bestandeshöhe und Rispendichte

Die Bestandeshöhe wurde an jedem Punkt einmal gemessen. Dazu wurde ein Zollstock verwendet und senkrecht in die Pflanzen gehalten, um so die Höhe ablesen zu können. Bei uneinheitlichen Beständen wurde sich nach einer dem Augenschein gemittelte Höhe gerichtet.

Als nächstes wurden im Gewächshaus von jeder Probe die Anzahl der Rispen gezählt, um so die Rispendichte bestimmen zu können. Zur Unterstützung wurde ein Handzähler (Klicker) verwendet. Die Rispendichte pro Probenfläche wurde umgerechnet, um auf die Rispendichte pro Quadratmeter zu kommen.

3.3.2 Dreschen der Proben

Im weiteren Schritt wurden die Proben mit der Dreschmaschine der Firma Hege gedroschen, um die Haferkörner vom Stroh zu entfernen. Mit dem Dreschen wurde am 19.08.2019 begonnen, das heißt zwischen Punktbeerntung und Dreschen wurden

die Proben 25 bis 32 Tagen im Gewächshaus gelagert. Nach dem Dreschen wurden die bespelzten Körner jeder Probe in Papiertüten mir der dazugehörigen Kodierung gepackt, um so für weitere Untersuchungen genutzt werden zu können.

3.3.3 Bestimmung des Ertrags

Um den Ertrag zu bestimmen, wurden zunächst die bespelzten Körner der 304 Proben gewogen. Zum Wiegen wurde eine Laborwaage (d= 0,01 g) verwendet, und so der Ertrag mit variabler Feuchtigkeit ($Ertrag_{varF}$) in Gramm pro Probenfläche ermittelt. Dieser wurde mithilfe des bei der Punktbeerntung notierten Reihenabstandes und der Anzahl an Reihen, auf die Fläche von einem Quadratmeter umgerechnet.

Im nächsten Schritt wurde die Trockenmasse einer jeden Probe bestimmt (s. Kapitel 3.3.4), um so den $Ertrag_{konstF}$ bei einer angenommenen konstanten Feuchtigkeit von 14 % bestimmen zu können. Es wurde folgende Formeln verwendet:

$$Ertrag_{konstF}\ [\frac{g}{m^2}] = \frac{TM\ [g]}{86} * 100$$

Alle Auswertungen sind mit den auf 14% Feuchte korrigierten Erträgen durchgeführt worden.

3.3.4 Bestimmung der Trockenmasse

Die Trockenmasse eines Lebensmittels ist die Summe aller nichtflüchtigen Bestandteile (Matissek et al. 2010). Die Trockenmasse wurde mithilfe der Trockenschrankmethode bestimmt, welche als gängiger Standard angesehen wird. Sie ist eine Absolutmethode und beruht auf der Bestimmung des Masseverlustes, welcher bei der Trocknung des Produktes entsteht. Dabei wird davon ausgegangen, dass es sich bei dem Masseverlust hauptsächlich um Wasser handelt und andere flüchtige Substanzen wie z.B. Ethanol oder flüchtige Säuren und Fette werden vernachlässigt (Tscheuschner 2004).

Um die Trockenmasse zu bestimmen wurde nur jeweils ein Teil einer jeden Probe zum Trocknen verwendet. Von jeder Probe wurde ein Esslöffel der bespelzten Körner in ein Glas gefüllt und im Trockenschrank bei 105 °C im Zeitraum von 48 h getrocknet. Durch Wiegen des Leergewichts der Gläser, der Einwaage (Gewicht der Gläser mit den frischen Körnern vor dem Trocknungsprozess) und der Auswaage (Gewicht der Gläser mit den getrockneten Körnern nach dem Trocknungsprozess), konnte die prozentuale Trockenmasse TM [%] je Probe bestimmt werden. Zum Wiegen wurde eine Laborwaage (d= 0,01 g) verwendet.

Es wurden folgende Formeln verwendet:

$$TM\ [\%] = \frac{m_2 - Leergewicht\ Glas}{m_1 - Leergewicht\ Glas} * 100$$

m_1 Einwaage

m_2 Auswaage

$$TM\ [g] = \frac{Ertrag_{varF}\ \left[\frac{g}{m^2}\right] * TM\ [\%]}{100}$$

3.4 Bestimmung der physikalischen Eigenschaften

3.4.1 Bestimmung des Tausendkorngewichts

Das TKG wurde mit einem optischen Körnerzählgerät mit integrierter Zählrinne bestimmt (Contador der Firma Pfeuffer GmbH). Damit wurden von jeder Probe fünf Mal 200 Körner abgezählt und im Anschluss mit einer Laborwaage (d = 0,01 g) gewogen. Das Gewicht der 200 Körner wurde jeweils mit fünf multipliziert, um das Gewicht für 1000 Körner zu erhalten. So wurden von jeder Probe fünf Werte für das TKG ermittelt. Von den fünf Werten wurde jeweils der Mittelwert gebildet, um einen Wert für das TKG je Probe zu erhalten.

3.4.2 Bestimmung von Korngrößenverteilung, Hektolitergewicht und Spelzanteil

Die Korngrößenverteilung, das Hektolitergewicht (HLG) und der Spelzanteil wurden mithilfe von Geräten bestimmt, die von der Firma Peter Kölln GmbH & Co. KGaA (im Folgenden Peter Kölln genannt) bereitgestellt wurden. Aufgrund des Zeitmangels konnten nicht alle 304 Proben analysierte werden. Zur Analyse wurden 142 Proben wie folgt ausgewählt: Es wurden von jedem der 76 Punkte eine Probe ausgewählt, die vom Ertrag her dem Durchschnittsertrag der vier Wiederholungen an dem jeweiligen Punkt am nächsten lag. Des Weiteren wurden von Betrieb 2 alle Proben und von Betrieb 4 alle Proben des ersten Feldes ausgewählt, um einen ganzen Betrieb bzw. ein ganzes Feld abzudecken. Außerdem wurden von Punkt drei auf Betrieb 5 alle vier Proben analysiert, da diese von einer anderen Sorte (Delfin) waren, als die restlichen Proben von Betrieb 5, die von der Sorte Max waren. Die restlichen Proben wurden zufällig oder nach Besonderheiten im Ertrag bzw. dem TKG ausgewählt. Besonderheit heißt in diesem Fall besonders hohe oder besonders niedrige Werte.

Die Korngrößenverteilung wurde von 142 Proben bestimmt. Zur Bestimmung, wurde eine Siebmaschine mit Sortiersieb (Probenreiniger SLN der Firma Pfeuffer GmbH) verwendet. Mit den Siebgrößen wurden die Körner der Proben in die Klassen > 2,25 mm, > 2,00 mm, > 1,75 mm und < 1,75 mm eingeteilt. Die Proben wurden vor der Siebreinigung gewogen (Laborwaage, d = 0,1 g). Im Nachhinein wurde das Gewicht der einzelnen Klassen ebenfalls durch Wiegen bestimmt und so auf den prozentualen Anteil der Klassen rückgeschlossen. Da die Industrie die Anforderung stellt, 90 % der Körner sollen über 2,00 mm groß sein, wurde sich vor allem auf diese Klasse konzentriert (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016).

Das HLG wurde mit einem Ganzkorn-Feuchtemessgerät (Granomat der Pfeuffer GmbH) bestimmt. Das Gerät misst die Dielekrizitätskonstante, das Gewicht und die Temperatur der Probe an den ganzen Körnern, und bestimmt dadurch das HLG in kg/hl (Pfeuffer GmbH 2019). Das HLG wurde insgesamt von 138 Proben bestimmt. 142 Proben waren vorgesehen, aber von Punkt 3 auf Betrieb 2 konnten vier Wiederholungen nicht verwendet werden, da das Probenmaterial zur Bestimmung nicht ausreichend war.

Um den Spelzanteil zu bestimmen, wurden zunächst jeweils 100,0 g bespelzte Körner einer jeden Probe, mit einer Schälmaschine der Firma Peter Kölln (Eigenbau) von den Spelzen befreit. Im Nachhinein wurden die Spelzen gewogen, um so auf den prozentualen Spelzanteil rückschließen zu können. Zum Wiegen wurde eine Laborwaage (d= 0,1 g) verwendet.

3.5 Bestimmung der biochemischen Qualitätseigenschaften

3.5.1 Bestimmung des Protein- und Beta-Glucan-Gehalts$_{AAS}$

Der Proteingehalt und ein Teil des β-Glucan-Gehalts wurden von der Firma Peter Kölln bestimmt. Es wurden 24 Proben à 30 g entspelzter Körner für die Analyse an die Firma Peter Kölln geschickt. Von Betrieb 1 wurde von jedem Punkt eine Wiederholung (16 Proben) und von Betrieb 7 wurde von acht Punkten eine Wiederholung eingeschickt (8 Proben). Dabei wurde möglichst darauf geachtet, dass nach BGSE gute und schlechte Standorte mit gleicher Anzahl vertreten waren. Es wurde immer die Wiederholung eines Punktes ausgewählt, die dem Durchschnittsertrag der vier Wiederholungen des jeweiligen Punktes am nächsten lag.

Zur Analyse nutzte die Firma Peter Kölln die Kjeldahl-Methode, welche weltweit akzeptiert ist und für eine weite Bandbreite an Materialien verwendet wird. Dazu gehören auch Lebensmittel und Agrarprodukte. Die Methode basiert auf vier grundsätzlichen Schritten: Nassaufschluss der Probe, um Stickstoff in Ammoniumsulfat umzuwandeln; Neutralisation mit einer Base, um Ammoniumsulfat in freies Ammoniak umzuwandeln; Destillation des Ammoniaks in Borsäure und Rücktitration der überschüssigen Borsäure mir einer Standardbase (Moore et al. 2010). Im Anschluss nutzte die Firma Peter Kölln eine Atomabsorptionsspektroskopie, um den Gehalt an Proteinen und β-Glucan zu bestimmen. Im weiteren Teil dieser Arbeit wird der β-Glucan-Gehalt, der durch die Atomabsorptionsspektrometrie ermittelt wurde, β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ genannt.

3.5.2 Bestimmung des Beta-Glucan-Gehalts$_{NIRS}$

Ein weiterer Teil der Proben wurde durch die Firma NORDSAAT Saatzucht GmbH auf den β- Glucan-Gehalt analysiert. Als Analysemethode wurde ein NIRS (Nahinfrarotspektroskopie) Gerät verwendet. Zur Analyse wurden 20 Proben à 50 g entspelzter Körner an die Firma NORDSAAT Saatzucht GmbH geschickt. Es wurden je 10 Proben von Betrieb 3 und Betrieb 6 ausgewählt. Von Betrieb 3 wurden dabei von sechs Punkten eine Probe und von zwei Punkten zwei Proben ausgewählt. Von Betrieb 6 wurde von zehn Punkten eine Probe ausgewählt.

Nach Informationen der Firma Peter Kölln diente die Atomabsorptionsspektroskopie als Kalibrator für das NIRS Gerät der Firma NORDSAAT Saatzucht GmbH und beide Methoden seien demnach miteinander vergleichbar (Anonym 2020b). Im weiteren Teil dieser Arbeit wird der β-Glucan-Gehalt, der mit dem NIRS Gerät ermittelt wurde, β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ genannt.

3.6 Satellitenbilder und NDVI

Neben der NDVI Berechnung, die durch den Experten innerhalb der BGSE durchgeführt wurden, gab es eine weitere davon unabhängige Berechnung des NDVI auf den Feldern der Betriebe. Es wurden vorab drei Sentinel 2 Satellitenbilder ausgewählt, die eine Sicht auf die Felder ohne Bewölkung zuließen. Für die Betriebe 1, 4 und 5, die am weitesten westlich lagen, wurde ein Satellitenbild vom 26.06.2019 ausgewählt. Für die Betriebe 2, 6 und 7, die weiter östlich lagen, wurde ebenfalls ein Satellitenbild vom 26.06.2019 ausgewählt. Für Betrieb 3, der auf der Insel Rügen lag, wurde ein Satellitenbild vom 19.06.2019 ausgewählt, da an diesem Datum keine Bewölkung

die Sicht auf das Feld versperrte. Die Daten der Satellitenbilder waren durch Zufall anders gewählt, als bei der BGSE. Bei der Auswahl wurde auf einen zeitlichen Abstand von 1 bis 1,5 Monate bis zur Ernte geachtet, um das in Kapitel 2.5.2 beschriebene Problem zu umgehen, den NDVI entweder an einem zu frühen oder zu späten Zeitpunkt in der Vegetationsphase zu berechnen.

Nachdem die Satellitenbilder ausgewählt wurden, konnten sie als Rasterlayer im Programm QGIS eingefügt werden. Dann konnte mithilfe des Rasterrechners der NDVI für die Satellitenbilder berechnet werden. Die geografische Lage der Punkte, an denen die Proben entnommen wurden, sind ebenfalls in QGIS hinterlegt worden. Die Punkte wurden in QGIS mit einer Pufferzone versehen. Als Durchmesser der Pufferzone wurde eine Länge von fünf Metern ausgewählt, da innerhalb dieses Bereiches die vier Wiederholungen je Punkt entnommen wurden. Mithilfe der Zonenstatistik in QGIS konnte der NDVI spezifisch für die Pufferzonen eines jeden Punktes berechnet werden. Dementsprechend war ein NDVI Wert für jeden der 76 Punkte verfügbar. Abbildungen mit farblicher Klassifizierung der NDVI Werte wurden mit QGIS erstellt.

3.7 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung der Daten wurden die Programme „Microsoft Excel 2016“ und „IBM SPSS Statistics 26“ verwendet. Die Daten wurden zunächst in Excel gesammelt, sortiert und daraufhin in SPSS übertragen. Die Abbildungen wurden mit Excel, SPSS oder GNU PSPP erstellt und ggf. mit „Microsoft Word 2016“ weiterverarbeitet. Die Mittelwerte der pflanzenbaulichen Eigenschaften (Ertrag, Rispendichte, Bestandeshöhe) und der physikalischen Eigenschaften (TKG, HLG, Anteil der Körner > 2mm, Spelzanteil) wurden mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) auf signifikante Unterschiede überprüft. Als Varianzursachen wurden die Faktoren BGSE-Standortgüte, Betrieb, Betriebsform und Sorte betrachtet und als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0{,}05$ gewählt. Auch tendenzielle Unterschiede ($0{,}05 < p \leq 0{,}10$) wurden als solche mit einem T gekennzeichnet. Der Faktor Betrieb ließ sich in die Gruppen Betrieb 1 – Betrieb 7 unterteilen. Falls es zu signifikanten Unterschieden zwischen den Betrieben kam wurde anschließend ein Post-hoc Test durchgeführt, um die Betriebe paarweise miteinander vergleichen und auf Signifikanz untersuchen zu können. Es wurde der Bonferroni-Test ausgewählt, da dieser zu den Klassikern unter den Post-hoc Tests zählt (Simes 1986).

Der Faktor BGSE-Standortgüte ließ sich in nach BGSE „gute“ und „schlechte“ Standorte unterteilen. Die Varianzanalyse wurde an dieser Stelle mehrmals durchgeführt, jeweils unter Einbeziehung verschiedener Betriebe und Felder. Das heißt, dass „gute“ und „schlechte“ Standorte jeweils einmal unter Einbeziehung aller Betriebe, unter Einbeziehung von jeweils einem Betrieb und auf den einzelnen Feldern auf Signifikanz überprüft wurden. Das Betrachten der einzelnen Felder galt für die Betriebe 1, 4, 6 und 7, da auf diesen Betrieben von zwei Feldern Proben entnommen wurden.

Im Anschluss wurden die Mittelwerte der Eigenschaften auf signifikante Unterschiede zwischen den Betriebsformen „konventionell“ und „ökologisch“ überprüft. Betrieb 1 und 2 wurden ökologisch und Betrieb 3 bis 7 wurden konventionell bewirtschaftet.

Die Mittelwerte der biochemischen Qualitätseigenschaften (β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$, β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und der Proteingehalt) wurden ebenfalls auf signifikante Unterschiede zwischen Betrieben und der BGSE-Standortgüte untersucht.

Des Weiteren wurden die Zusammenhänge der verschiedenen Eigenschaften analysiert. Dazu wurde das jeweilige Bestimmtheitsmaß R^2 (linear) mithilfe einer Regressionsanalyse bei einem Niveau von $\alpha = 0{,}05$ auf Signifikanz überprüft. Zur Verdeutlichung wurden die Korrelationen in Streudiagrammen dargestellt. Am meisten wurde das Augenmerk auf den Zusammenhang von Ertrag mit den verschiedenen Eigenschaften und dem NDVI gelegt. Aufgrund von der in Kapitel 2.3.3 erwähnten negativen Beeinflussung des HLG durch eine zu hohe Bestandesdichte und der möglichen positiven Auswirkung eines hohen HLG auf eine Verringerung des Spelzanteils (Doehlert et al. 2006, Beuch et al. 2016), wurden diese Zusammenhänge zusätzlich auf jedem Betrieb auf Signifikanz überprüft.

4 Ergebnisse

4.1 Einfluss der Faktoren „Betrieb“, „BGSE-Standortgüte“ und „Betriebsform“

4.1.1 Ertrag

Der Ertrag schwankte auf den elf Feldern der Betriebe 1 – 7 in einem Bereich von 3,8 – 256,5 dt/ha. Im Mittel beider Standorte wurde der höchste Ertrag mit 204,8 dt/ha auf Betrieb 3 und der niedrigste Ertrag mit 29,3 dt/ha auf Betrieb 2 gemessen. Auf jedem Betrieb war der durchschnittliche Ertrag auf den nach BGSE guten Standorten höher als auf den schlechten Standorten (Tab. 9).

Tabelle 9: Statistiken des Ertrags [dt/ha] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

			Ertrag [dt/ha]				
Betrieb	$Standort_{BGSE}$	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
1	gesamt	64	52,4	14,5	103,1	18,8	0,36
	gut	32	63,7	44,3	103,1	14,6	0,23
	schlecht	32	41,1	14,5	88,2	15,5	0,38
2	gesamt	24	29,3	3,8	55,6	13,8	0,47
	gut	12	38,9	29,7	55,6	8,3	0,21
	schlecht	12	19,6	3,8	31,4	11,3	0,58
3	gesamt	32	204,8	135,2	256,5	28,4	0,14
	gut	16	223,8	180,4	256,5	18,3	0,08
	schlecht	16	185,9	135,2	223,7	23,8	0,13
4	gesamt	64	53,7	29,8	93,3	15,7	0,29
	gut	32	66,6	47,7	93,3	10,8	0,16
	schlecht	32	40,8	29,8	55,1	6,5	0,16
5	gesamt	32	31,7	16,8	74,6	13,0	0,41
	gut	16	41,4	27,8	74,6	11,5	0,28
	schlecht	16	21,9	16,8	30,1	3,7	0,17
6	gesamt	40	45,9	29,6	72,9	9,6	0,21
	gut	20	52,3	41,00	72,9	8,4	0,16
	schlecht	20	39,4	29,6	47,8	5,7	0,14
7	gesamt	48	40,5	5,1	66,7	13,0	0,32
	gut	24	44,9	29,2	66,7	10,1	0,22
	schlecht	24	36,0	5,1	63,5	14,1	0,39

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

Die Auswertung des gesamten Datensatzes ergab, dass der Faktor Betrieb in der Varianzanalyse signifikant war (p = 0,001).

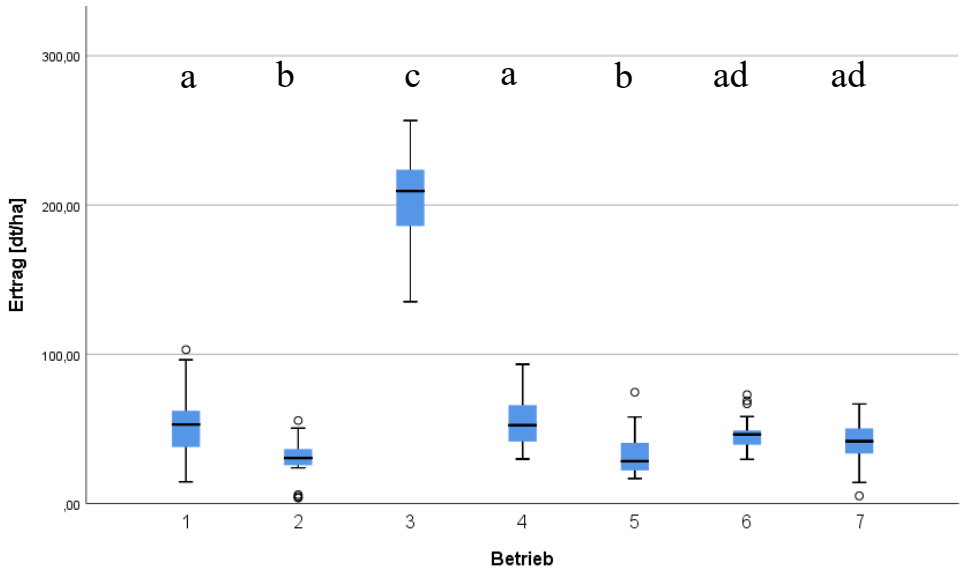


Abbildung 3: Einfluss des Faktors „Betrieb" auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05

Auf Betrieb 3 wurde im Vergleich mit den anderen Betrieben mit Abstand der höchste Ertrag gemessen. Er ist der einzige Betrieb, der gegenüber allen anderen Betrieben einen signifikant höheren Ertrag hatte. Die Spannweite und der Interquartilbereich (IQB) waren ebenfalls auf Betrieb 3 am größten und am kleinsten auf Betrieb 6.

Bei Betrachtung des Faktors BGSE-Standortgüte waren die Erträge auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten (p < 0,001). Auch für jeden Betrieb einzeln betrachtet, waren die Erträge auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt.

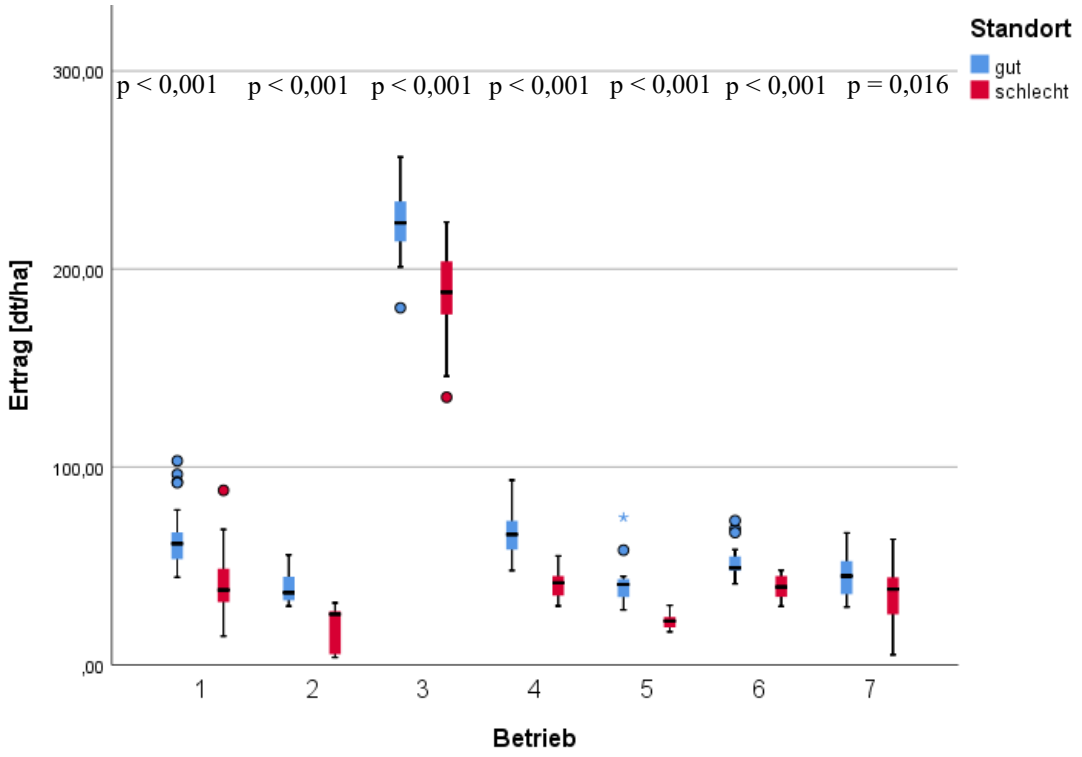


Abbildung 4: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05)

Im nächsten Schritt wurde der Faktor BGSE-Standortgüte auf den verschiedenen Feldern der Betriebe auf Signifikanz überprüft. Dies galt für die Betriebe 1, 4, 6 und 7, da auf diesen Betrieben zwei Felder beprobt wurden. Die zugehörigen Statistiken und Mittelwerte des Ertrags je Feld und auch der anderen Eigenschaften je Feld befinden sich in den Abbildungen A 7 – A 10 im Anhang.

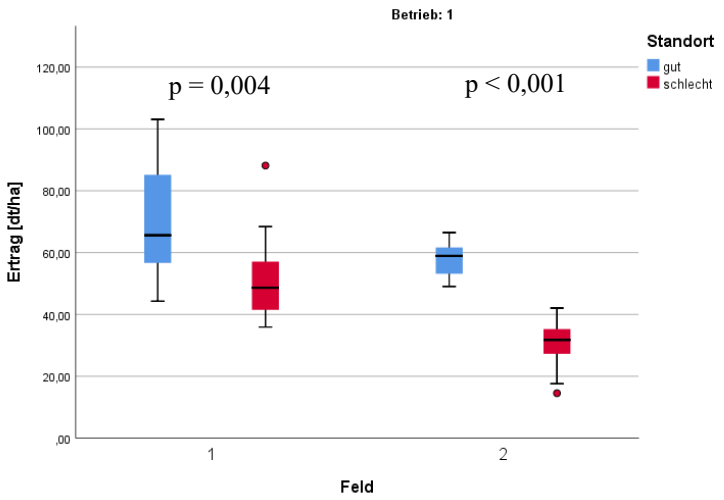


Abbildung 5: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 1 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05)

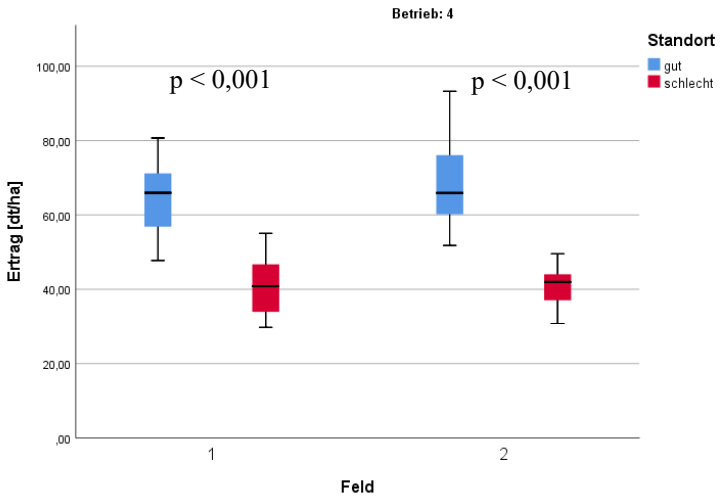


Abbildung 6: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 4 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05)

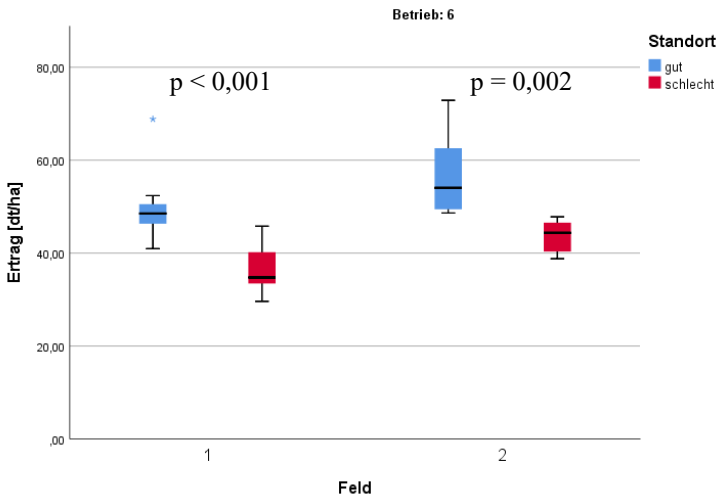


Abbildung 7: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05)

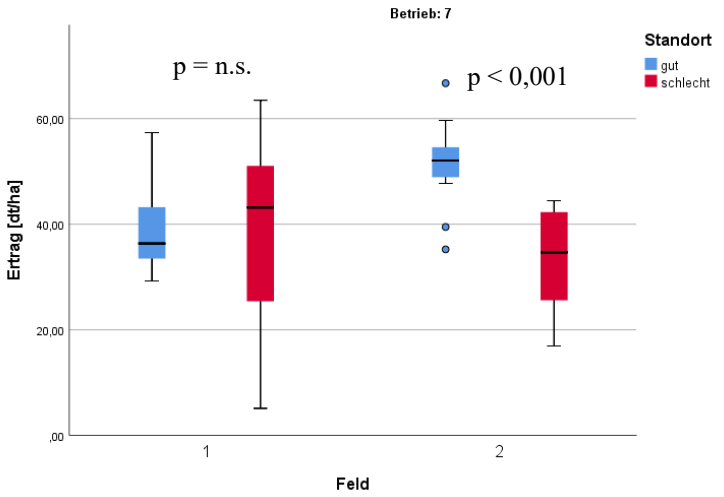


Abbildung 8: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 7 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant

Der Ertrag war auf allen Feldern der Betriebe 1, 4 und 6 auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten. Auf Betrieb 7 war der Ertrag lediglich auf Feld zwei signifikant höher auf den guten Standorten. Für die Betriebe 1 - 7 insgesamt war also der Ertrag auf zehn von elf Feldern auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten. Von diesen zehn Feldern beträgt die durchschnittliche Ertragsdifferenz zwischen den Standorten 21,7 dt/ha.

Von sieben Betrieben wiesen Betrieb 1 und 2 eine ökologische und Betrieb 3 bis 7 eine konventionelle Bewirtschaftung auf.

Tabelle 10: Statistiken des Ertrags [dt/ha] von Haferproben aus dem Erntejahr 2019 aufgeteilt in die Betriebsformen konventionell und ökologisch

		Ertrag [dt/ha]				
Betriebsform	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
konventionell	216	68,4	5,1	256,5	59,8	1,14
ökologisch	88	46,1	3,8	103,1	20,3	2,27
konventionell (ohne Betrieb 3)	184	44,7	5,1	93,3	15,5	2,89

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

Der Ertragsmittelwert lag auf den konventionellen Betrieben bei 68,4 dt/ha und auf den ökologischen Betrieben bei 46,1 dt/ha. Die Unterschiede waren bei einem p-Wert von 0,001 signifikant. Bei Sichtung der Daten fiel auf, dass die konventionellen Betriebe 32 Extremwerte aufwiesen, die allesamt von Betrieb 3 stammten. Da Betrieb 3 im Vergleich mit den anderen Betrieben einen extrem hohen Ertrag hatte, und somit das Ergebnis der Varianzanalyse stark beeinflusst, wurde die Varianzanalyse ein zweites Mal durchgeführt, dieses Mal unter Ausschluss von Betrieb 3. Danach waren die Unterschiede zwischen den Betriebsformen nicht mehr signifikant (p = 0,534). Der Ertragsmittelwert der konventionellen Betriebe sank ohne Betrieb 3 auf 44,7 dt/ha und lag somit etwas unter dem Ertragsmittelwert der ökologischen Betriebe.

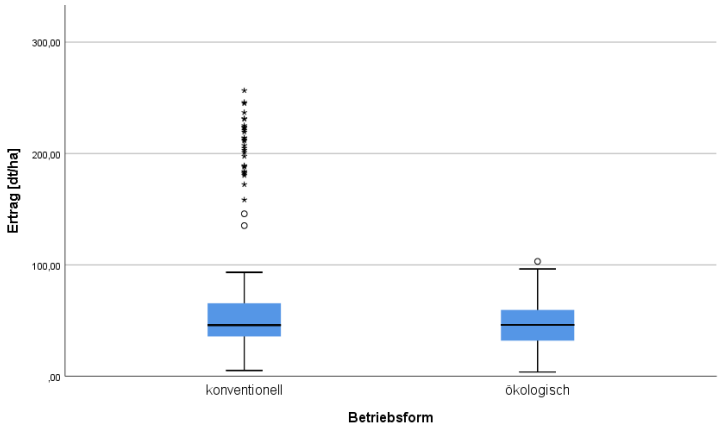


Abbildung 9: Verteilung des Ertrags [dt/ha] von Haferproben des Erntejahres 2019 nach Betriebsformen konventionell und ökologisch unterteilt (Betriebe 1 -7 eingeschlossen)

4.1.2 Bestandeshöhe

Die Bestandeshöhe schwankte auf den elf Feldern der Betriebe 1 – 7 in einem Bereich von 44 – 121 cm. Für beide Standorte zusammen betrachtet wurde die durchschnittlich höchste Bestandeshöhe mit 92 cm auf Betrieb 4 und die niedrigste Bestandeshöhe mit 65 cm auf Betrieb 2 gemessen. Auf jedem Betrieb war die Bestandeshöhe auf den guten Standorten höher als auf den schlechten.

Tabelle 11: Statistiken der Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

			Bestandeshöhe [cm]				
Betrieb	$Standort_{BGSE}$	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
1	gesamt	16	90	59	115	15,1	0,17
	gut	8	102	92	115	7,9	0,08
	schlecht	8	79	59	91	11,1	0,14
2	gesamt	5	65	53	75	9,6	0,15
	gut	3	72	68	75	3,5	0,05
	schlecht	2	55	53	57	2,8	0,05
3	gesamt	11	92	75	105	9,6	0,10
	gut	7	97	92	105	5,9	0,06
	schlecht	4	83	75	94	8,0	0,10
4	gesamt	16	81	50	121	20,0	0,25
	gut	8	96	81	121	15,1	0,16
	schlecht	8	66	50	79	10,8	0,16
5	gesamt	8	70	44	116	25,9	0,37
	gut	4	92	77	116	17,5	0,19
	schlecht	4	49	44	55	4,7	0,09
6	gesamt	10	71	60	85	8,4	0,12
	gut	5	78	72	85	4,9	0,06
	schlecht	5	65	60	70	5,1	0,08
7	gesamt	12	75	51	94	12,5	0,17
	gut	6	80	58	94	12,3	0,15
	schlecht	6	70	51	80	11,1	0,16

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

Die Bestandeshöhe war zwischen den Betrieben signifikant (p = 0,001) unterschiedlich. Im Paarvergleich der Betriebe konnten allerdings keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

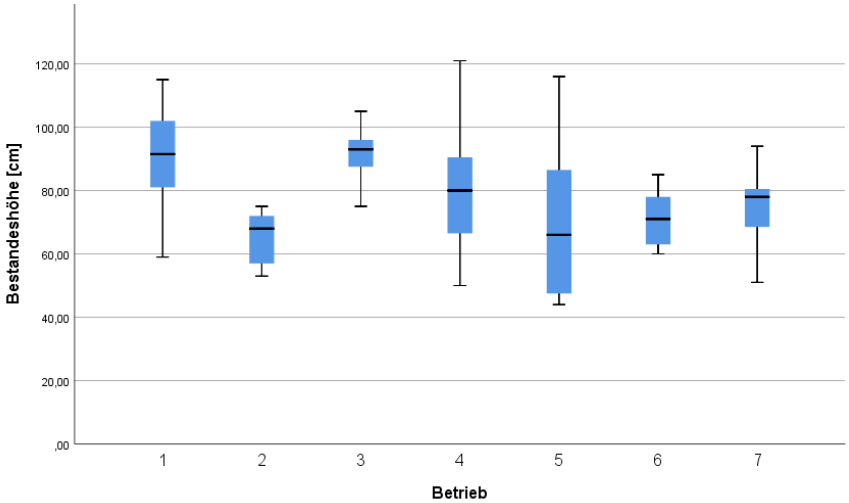


Abbildung 10: Verteilung der Bestandeshöhe[dt/ha] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019.

Alle Betriebe eingeschlossen war die Bestandeshöhe auf den nach BGSE guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten (p < 0,001). Auch für jeden Betrieb einzeln betrachtet, war die Bestandeshöhe auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten, mit Ausnahme von Betrieb 7, auf dem sich keine Signifikanz feststellen ließ. Die p-Werte der Unterschiede zwischen den Standorten sind für jeden Betrieb in Abbildung 11 dargestellt.

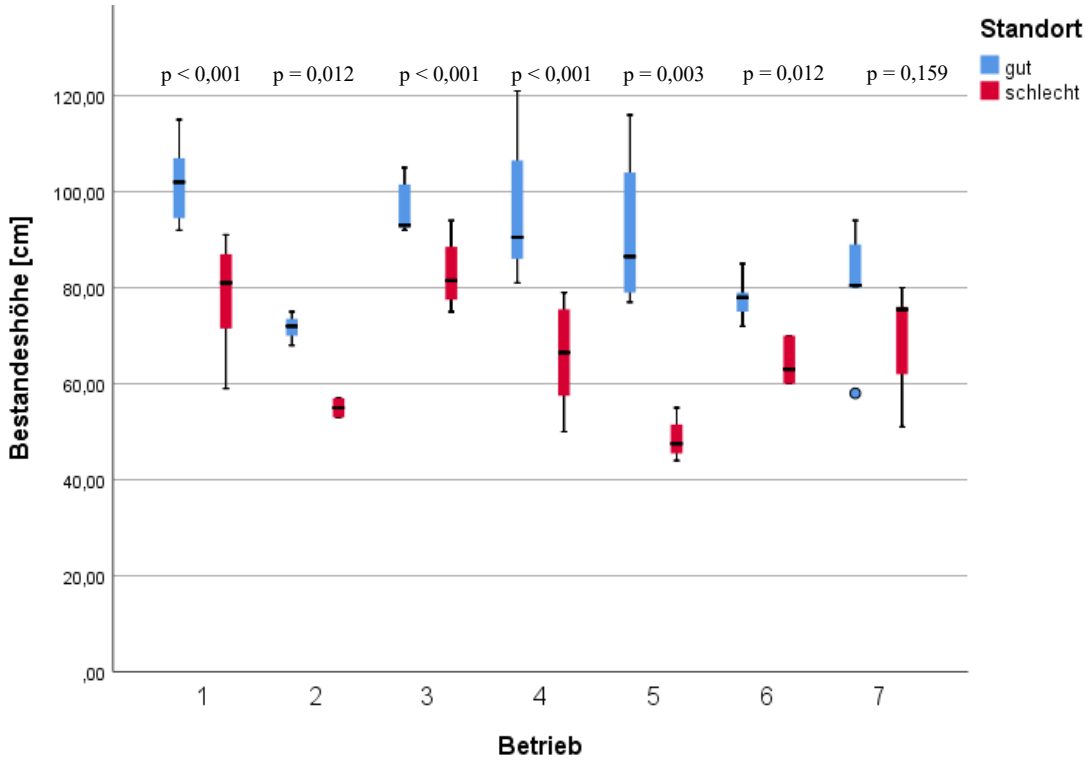


Abbildung 11: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf die Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05)

Im nächsten Schritt wurde der Faktor BGSE-Standortgüte auf den verschiedenen Feldern der Betriebe auf Signifikanz überprüft. Dies gilt für die Betriebe 1, 4, 6 und 7, da auf diesen Betrieben zwei Felder beprobt wurden.

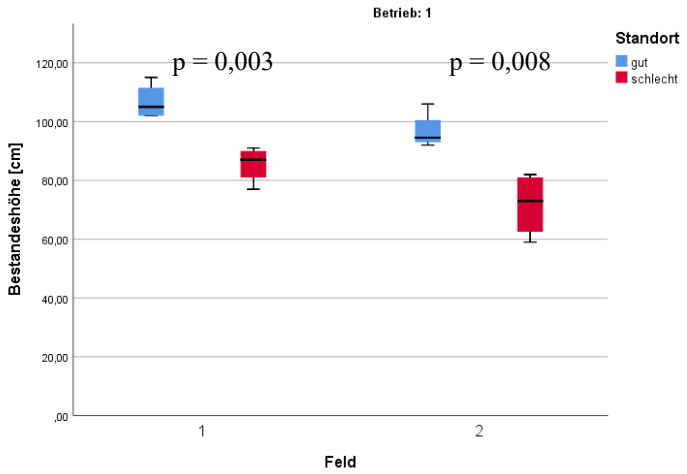


Abbildung 12: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf die Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf Betrieb 1 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05)

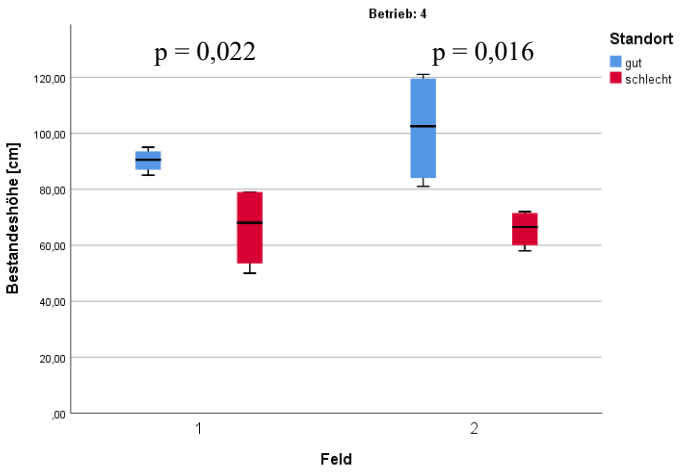


Abbildung 13: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf die Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf Betrieb 4 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05)

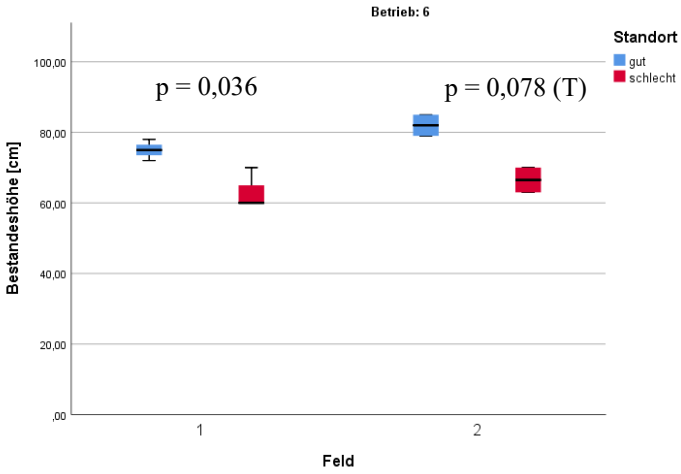


Abbildung 14: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf die Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10)

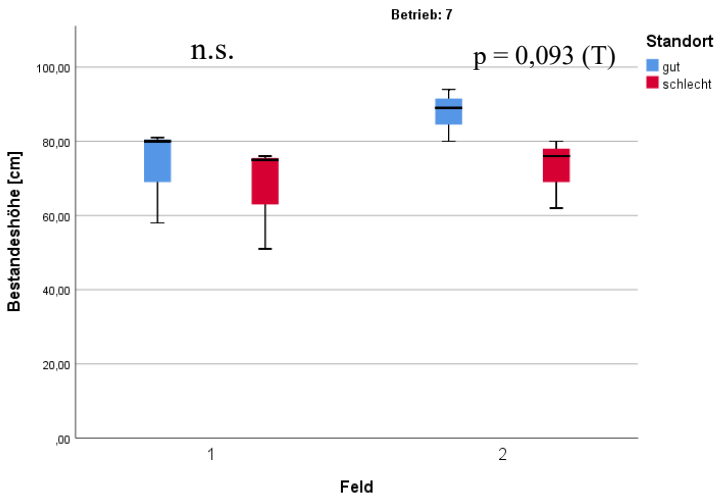


Abbildung 15: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf die Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf Betrieb 7 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10)

Zusammenfassend für die Betriebe 1 - 7 war die Bestandeshöhe auf allen elf Feldern auf den guten Standorten höher als auf den schlechten Standorten. Die durchschnittliche Differenz zwischen den Standorten auf elf Feldern betrug 20,7 cm. Von elf Feldern war der Unterschied auf acht Feldern signifikant.

Die Bestandeshöhe war zwischen den Betriebsformen konventionell und ökologisch nicht signifikant (p = 0,216). Die mittlere Bestandeshöhe war auf den ökologischen Betrieben mit 84 cm etwas höher als auf den konventionellen Betrieben mit 79 cm.

4.1.3 Rispendichte

Im Mittel beider Standorte wurde die höchste Rispendichte auf Betrieb 3 mit 1087 [Stk/m²] und die kleinste Rispendichte mit 286 [Stk/m²] auf Betrieb 5 ermittelt. Auf den nach BGSE guten Standorten schwankte die Rispendichte zwischen 200 – 1279 [Stk/m²] und auf den schlechten Standorten zwischen 168 – 1167 [Stk/m²]. Auf Betrieb 1, 3, 4 und 6 war die Rispendichte auf den guten Standorten höher als auf den schlechten. Auf Betrieb 2, 5 und 7 war es umgekehrt.

Tabelle 12: Statistiken der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

			Rispendichte [Stk/m²]				
Betrieb	$Standort_{BGSE}$	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
1	gesamt	64	315	218	518	55,2	0,18
	gut	32	331	247	518	55,5	0,17
	schlecht	32	299	218	443	52,0	0,17
2	gesamt	24	409	271	681	96,4	0,24
	gut	12	386	271	457	58,8	0,15
	schlecht	12	431	288	681	121,9	0,28
3	gesamt	32	1087	874	1279	89,8	0,08
	gut	16	1140	1007	1279	72,5	0,06
	schlecht	16	1035	874	1167	73,9	0,07
4	gesamt	64	345	195	599	75,4	0,22
	gut	32	385	271	599	77,7	0,20
	schlecht	32	305	195	409	47,0	0,15
5	gesamt	32	286	200	467	51,4	0,18
	gut	16	277	200	467	62,9	0,23
	schlecht	16	295	227	377	36,5	0,12
6	gesamt	40	378	301	534	59,5	0,16
	gut	20	385	316	503	57,7	0,15
	schlecht	20	372	301	534	62,1	0,17
7	gesamt	48	333	168	642	79,5	0,24
	gut	24	325	229	399	47,2	0,15
	schlecht	24	340	168	642	102,8	0,30

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

Die Mittelwerte der Rispendichte waren zwischen den Betrieben signifikant unterschiedlich ($p < 0{,}001$).

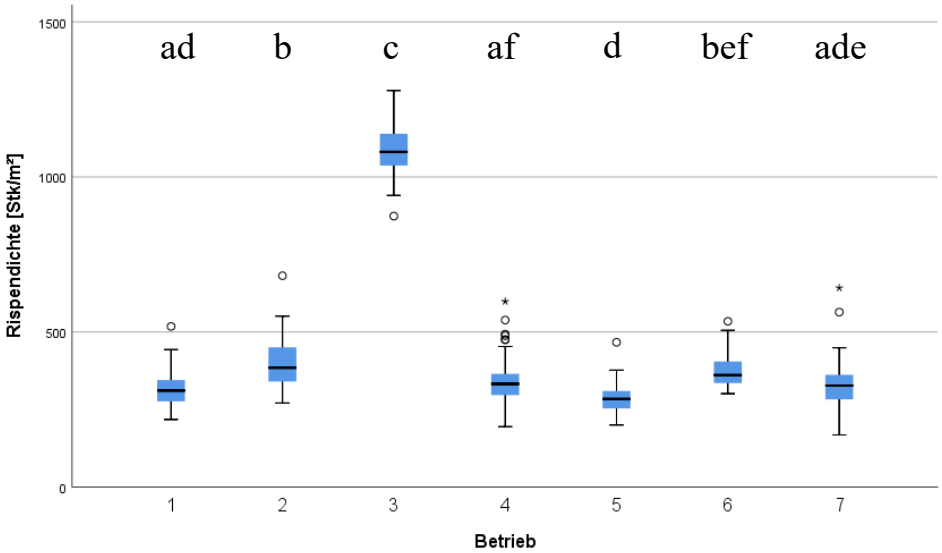


Abbildung 16: Einfluss des Faktors „Betrieb" auf die Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α = 0,05

Auf Betrieb 3 wurde im Vergleich mit den anderen Betrieben mit Abstand die höchste Rispendichte ermittelt. Die Spannweite war auf Betrieb 7 am größten und auf Betrieb 6 am kleinsten.

Die Unterschiede der Rispendichte zwischen den nach BGSE eingeteilten Standorten waren nicht signifikant. Erst als die Unterschiede zwischen den Standorten für jeden Betrieb einzeln überprüft wurden, ergaben sich eine signifikant höhere Rispendichte auf den guten Standorten von Betrieb 1, Betrieb 3 und Betrieb 4. Auf den restlichen Betrieben war der Standorteffekt nicht signifikant.

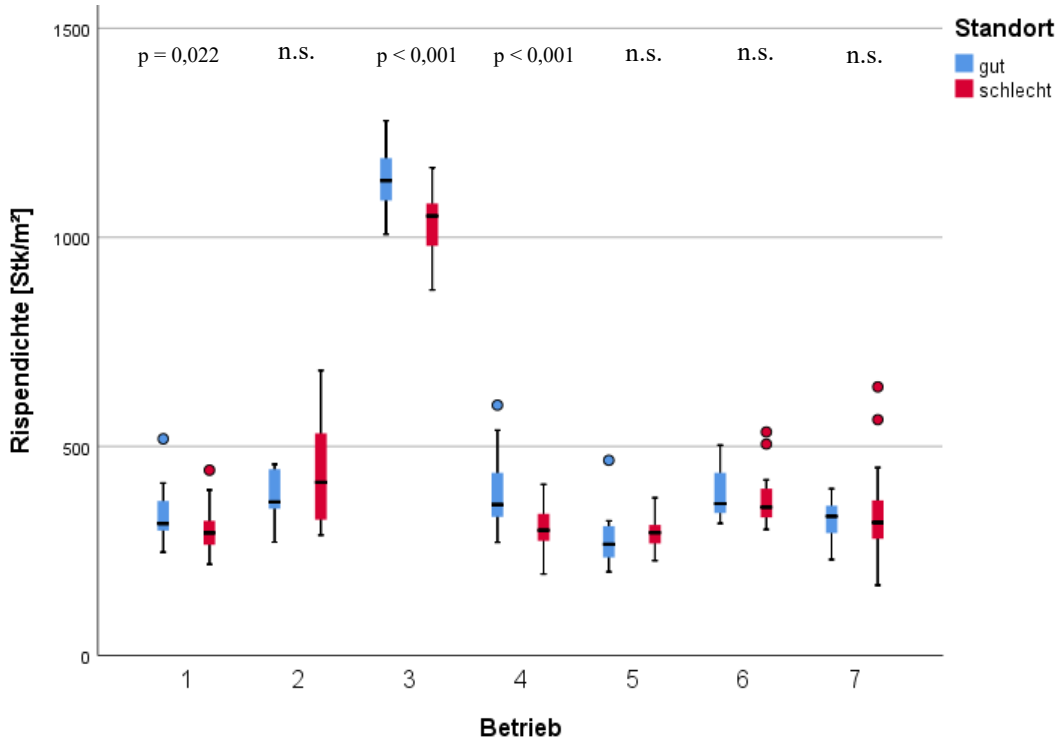


Abbildung 17: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf die Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant

Für die Betriebe 1, 4, 6 und 7 wurde der Faktor BGSE-Standortgüte zusätzlich auf Signifikanz auf den einzelnen Feldern überprüft. Auf Betrieb 1 war die Rispendichte auf Feld 1 auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten (p = 0,011). Auf Feld 2 war der Unterschied jedoch nicht signifikant. Auf Betrieb 4 war die Rispendichte auf beiden Feldern auf den guten Standorten höher als auf den schlechten (p = 0,001). Auf Betrieb 6 und 7 waren die Unterschiede auf jeweils beiden Feldern nicht signifikant.

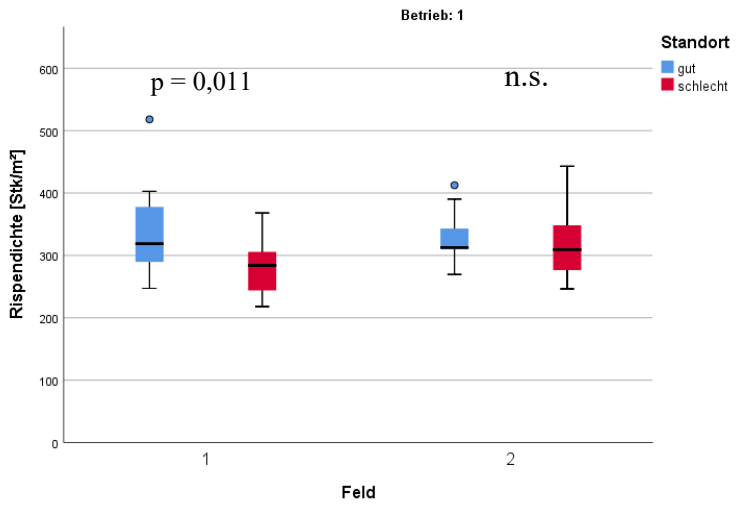


Abbildung 18: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf die Rispendicht [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 1 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant

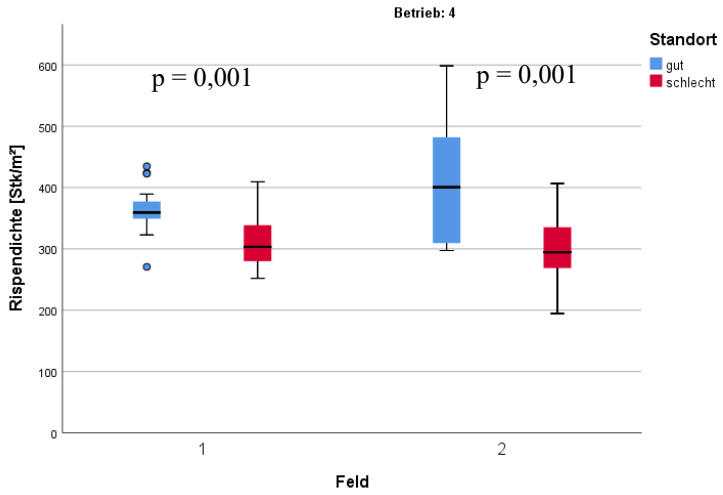


Abbildung 19: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf die Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 4 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05)

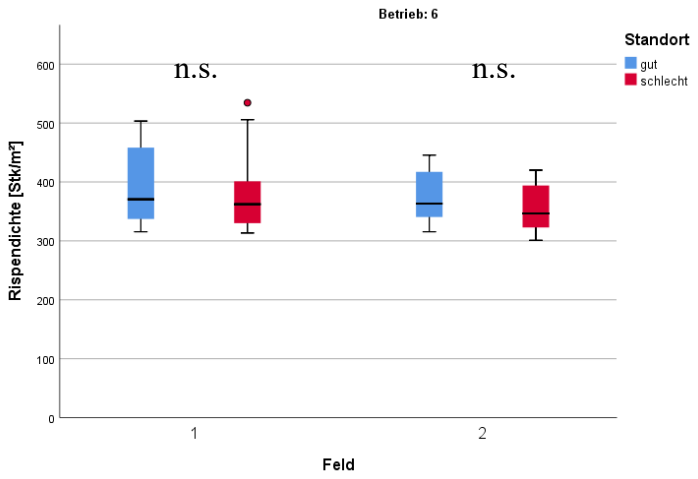


Abbildung 20: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf die Rispendicht [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. n.s. = nicht signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld bei einem Niveau von α = 0,05

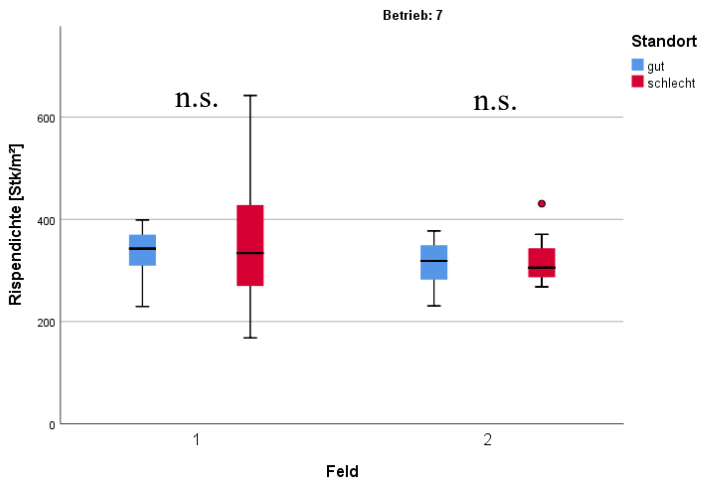


Abbildung 21: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf die Rispendicht [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 7 je Feld im Erntejahr 2019. n.s. = nicht signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld bei einem Niveau von α = 0,05

Zusammenfassend für die elf Felder der Betriebe 1 – 7, war die Rispendichte auf sieben Feldern auf den guten Standorten höher als auf den schlechten Standorten. Von den sieben Feldern war der Unterschied in der Rispendichte auf vier Feldern signifikant.

Der Faktor Betriebsform hatte einen signifikanten Einfluss auf die Rispendichte ($p < 0{,}001$). Die durchschnittliche Rispendichte lag auf den konventionellen Betrieben bei 450 [Stk/m²] und auf den ökologischen Betrieben bei 339 [Stk/m²] (Tab. 13). Auch in diesem Fall sind - ähnlich wie bei der Verteilung des Ertrags - 32 Extremwerte auf Seiten der konventionellen Betriebe zu sehen (Abb. 22). Diese gehören auch hier allesamt zu Betrieb 3. Aus diesem Grund wurde die Varianzanalyse ein zweites Mal unter Ausschluss von Betrieb 3 durchgeführt. Der Unterschied ist bei einem p-Wert von 0,860 nicht mehr

signifikant. Der Mittelwert der konventionellen Betriebe liegt ohne Betrieb 3 bei 339 [Stk/m²]

Tabelle 13: Statistiken der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben aus dem Erntejahr 2019 aufgeteilt in die Betriebsformen konventionell und ökologisch

		Rispendichte/m²				
Betriebsform	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
konventionell	216	450	168	1279	277,5	0,62
ökologisch	88	340	218	681	80,2	0,24
konventionell (ohne 32 Extremwerte von Betrieb 3)	184	339	168	642	75,1	0,22

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

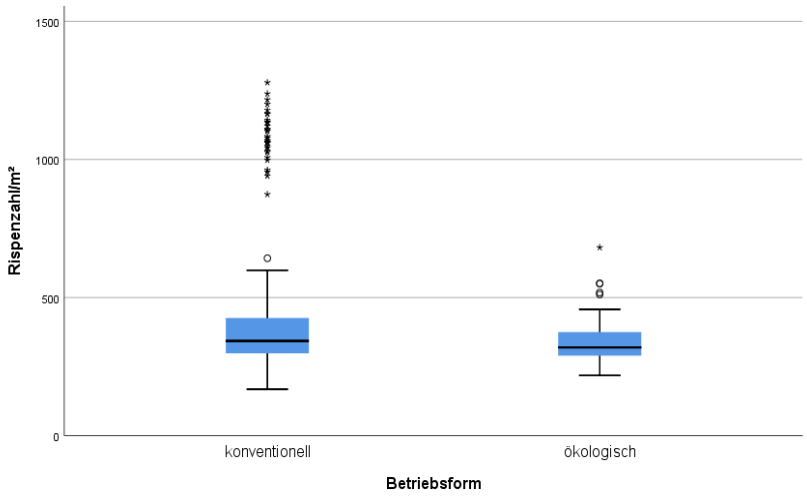


Abbildung 22: Verteilung der Rispendichte [Stk/m²] des Erntejahres 2019 nach Betriebsformen konventionell und ökologisch unterteilt (Betrieb 3 eingeschlossen)

4.1.4 Tausendkorngewicht

Das durchschnittliche TKG war für beide Standorte zusammen betrachtet auf Betrieb 6 mit 39,4 g am höchsten und auf Betrieb 2 mit 29,2 g am niedrigsten. Das TKG lag in einem Bereich von 25,3 - 41,7 g. Auf jedem Betrieb war das TKG auf den nach BGSE guten Standorten höher als auf den schlechten Standorten. Die Variationskoeffizient war auf Betrieb 2 am größten.

Tabelle 14: Statistiken des TKG [g] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

			TKG [g]				
Betrieb	$Standort_{BGSE}$	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
1	beide	64	30,8	24,1	38,1	3,2	0,10
	gut	32	30,8	25,5	37,8	3,0	0,10
	schlecht	32	30,7	24,1	38,2	3,5	0,11
2	beide	24	29,2	10,5	33,7	7,5	0,26
	gut	12	33,0	31,4	33,7	0,7	0,02
	schlecht	12	25,3	10,5	33,4	9,2	0,36
3	beide	32	38,1	28,0	44,3	4,3	0,11
	gut	16	40,6	36,9	44,3	2,0	0,05
	schlecht	16	35,6	28,0	41,8	4,6	0,13
4	beide	64	36,3	32,3	41,5	2,3	0,06
	gut	32	37,7	34,2	41,5	2,2	0,06
	schlecht	32	34,9	32,3	37,6	1,6	0,05
5	beide	32	35,6	29,1	43,0	3,1	0,09
	gut	16	37,8	34,6	43,0	2,0	0,05
	schlecht	16	33,3	29,1	38,5	2,2	0,07
6	beide	40	39,4	29,6	44,2	3,6	0,09
	gut	20	41,7	38,4	44,2	1,6	0,04
	schlecht	20	37,1	29,6	42,0	3,5	0,10
7	beide	48	32,3	25,1	37,7	2,7	0,08
	gut	24	34,0	29,2	36,3	1,8	0,05
	schlecht	24	31,6	25,1	37,7	3,3	0,11

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

In Abbildung 23 sind vier mit Sternchen markierte Extremwerte auf Betrieb 2 zu erkennen. Diese stammten allesamt von Punkt 3, welcher auch schon bei der Ertragsbestimmung im Vergleich mit den restlichen Proben sehr niedrige Werte aufwies. Das durchschnittliche TKG lag hier bei 13,1 g. Das TKG war zwischen den Betrieben signifikant unterschiedlich ($p < 0,001$).

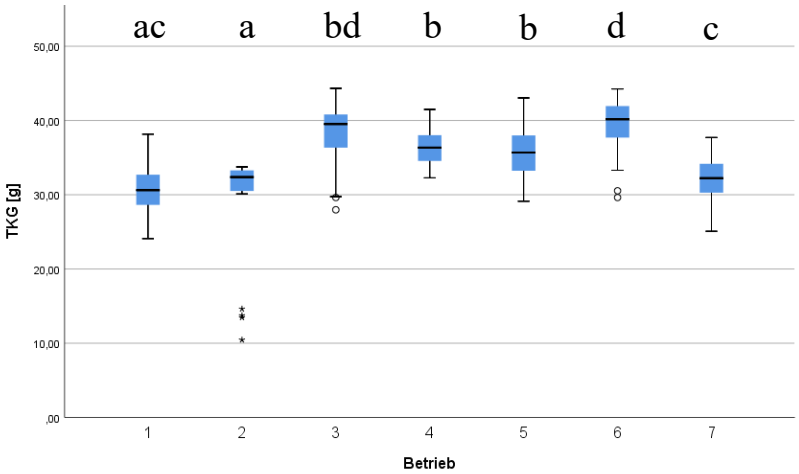


Abbildung 23: Einfluss des Faktors „Betrieb" auf das TKG [g] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05

Für alle Betriebe zusammen betrachtet war das TKG auf den nach BSGE guten Standorten signifikant höher als auf den nach BGSE schlechten Standorten ($p < 0{,}001$). Werden die Unterschiede für jeden Betrieb einzeln betrachtet, ergaben sich auf Betrieb 2, 3, 4 und 5 ein signifikant höheres TKG auf den guten Standorten ($p < 0{,}001$). Auf Betrieb 1 war der Unterschied zwischen den Standorten nicht signifikant und auf Betrieb 7 war das TKG auf den guten Standorten lediglich in der Tendenz ($p = 0{,}090$) höher.

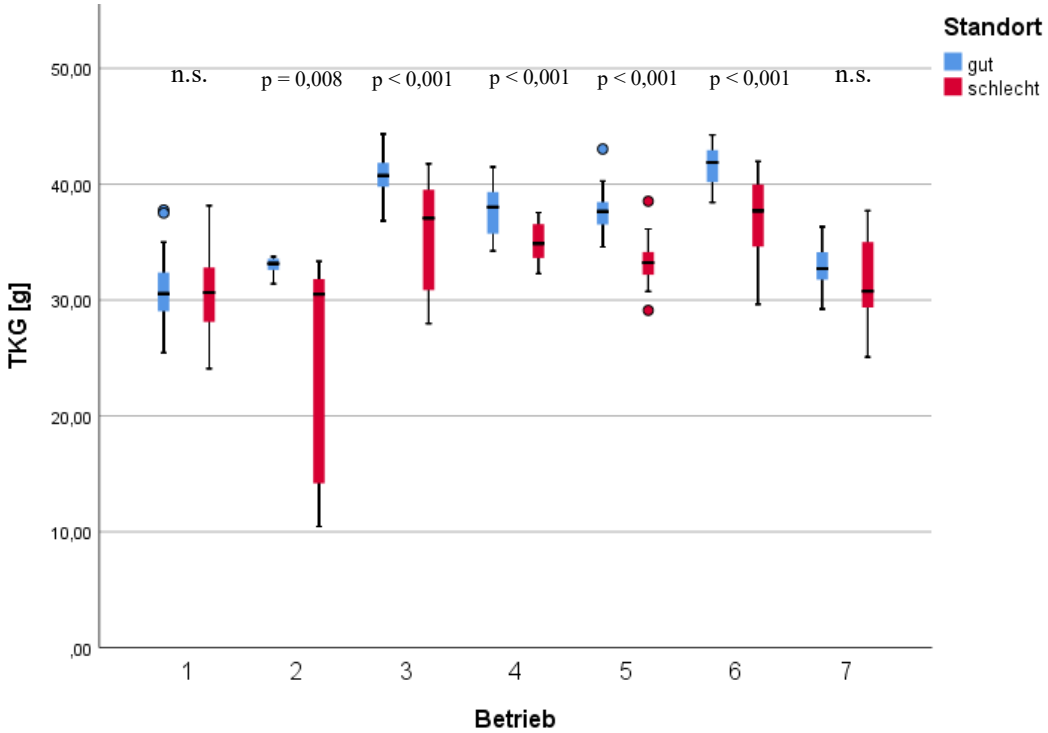


Abbildung 24: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf das TKG [g] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant

Die mit Abstand größte Spannweite lässt sich auf Betrieb 2 auf den schlechten Standorten erkennen (Abb. 24). Dies lässt sich vor allem auf das im Vergleich sehr niedrige TKG [g] auf Punkt 3 zurückführen.

Im nächsten Schritt wurde das TKG auf den Betrieben 1, 4, 6 und 7 nach dem Faktor BGSE-Standortgüte auf den verschiedenen Feldern auf Signifikanz überprüft. Auf Betrieb 1 war das TKG auf beiden Feldern zwischen den Standorten nicht signifikant unterschiedlich. Auf Feld 1 lag das durchschnittliche TKG auf den guten Standorten leicht über dem TKG der schlechten Standorte und auf Feld 2 war es umgekehrt. Auf beiden Feldern von Betrieb 4 und 6 und auf Feld 1 von Betrieb 7 war das TKG auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten. Auf Feld 1 von Betrieb 7 lag das durchschnittliche TKG auf den schlechten Standorten leicht über dem durchschnittlichen TKG der guten Standorte. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant.

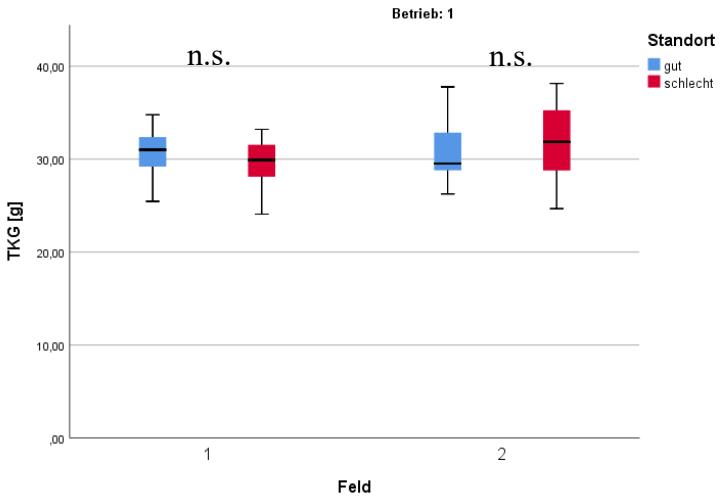


Abbildung 25: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 1 je Feld im Erntejahr 2019. n.s. = nicht signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld bei einem Niveau von α = 0,05

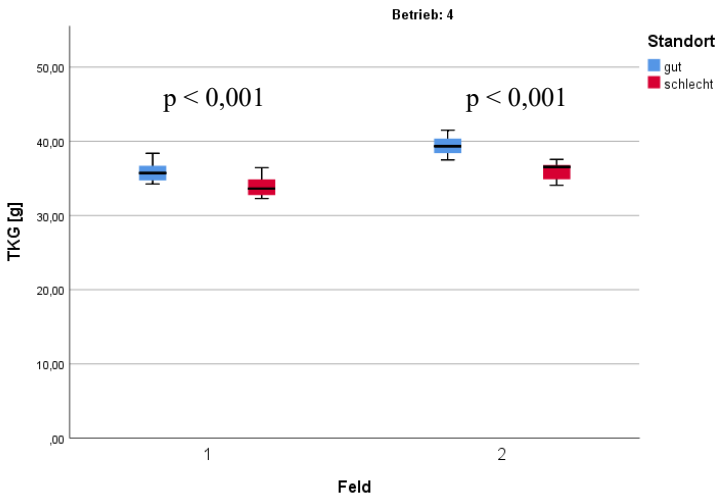


Abbildung 26: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf das TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 4 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05)

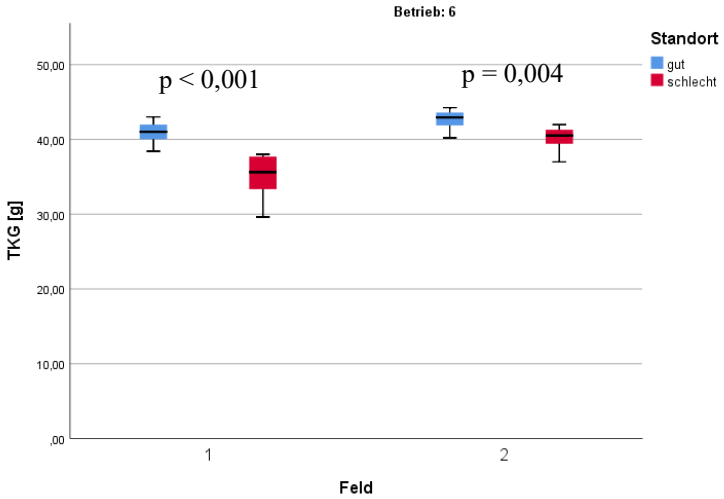


Abbildung 27: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf das TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05)

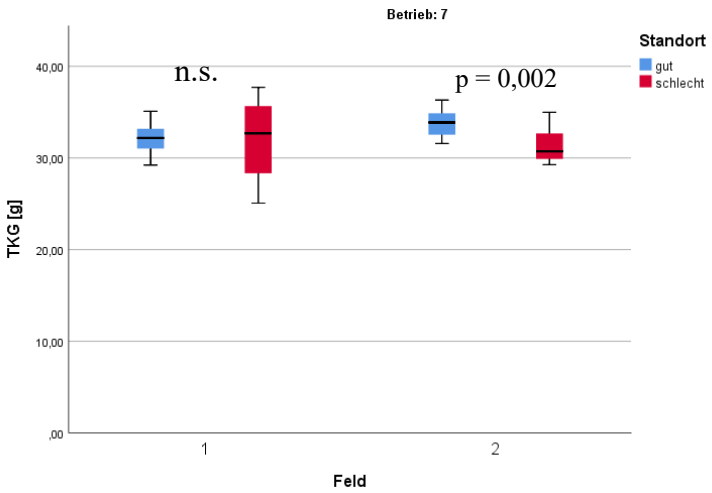


Abbildung 28: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte“ auf das TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 7 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant

Zusammenfassend für die elf Felder der Betriebe 1 – 7 war das TKG auf zehn Feldern auf den nach BGSE guten Standorten höher als auf den schlechten Standorten. Auf acht Feldern waren die Unterschiede signifikant. Im Durchschnitt der elf Felder lag das TKG auf den guten Standorten um 3,1 g höher als auf den schlechten Standorten.

Bei einem p-Wert von < 0,001 war das TKG auf den konventionellen Betrieben signifikant höher als auf den ökologischen Betrieben. Der Mittelwert lag auf den konventionellen Betrieben bei 36,14 g und auf den ökologischen Betrieben bei 30,35 g.

Tabelle 15: Statistiken des TKG [g] aus dem Erntejahr 2019 von punktuellen Probennahmen aufgeteilt in die Betriebsformen „konventionell“ und „ökologisch“

		TKG [g]				
Betriebsform	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD	CV
konventionell	216	25,1	44,3	36,1	3,9	0,16
ökologisch	88	10,5	38,2	30,4	4,8	0,46

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

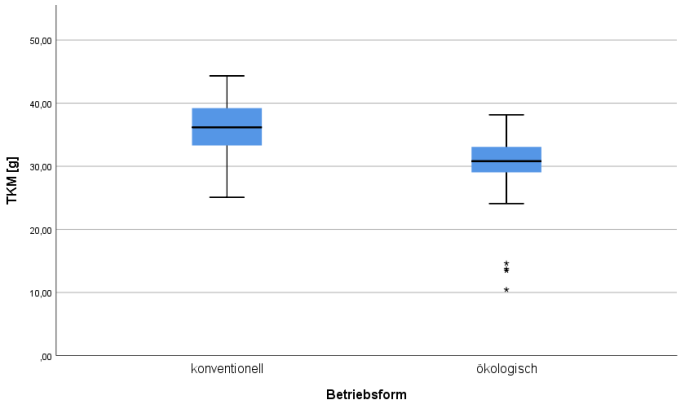


Abbildung 29: Verteilung des TKG [g] des Erntejahres 2019 nach Betriebsformen konventionell und ökologisch unterteilt

Beim TKG sind – im Gegensatz zum Parameter Ertrag oder Rispendichte- auf Seiten der konventionellen Betriebe keine Extremwerte zu erkennen. Auf Seiten der ökologischen Betriebe gibt es jedoch vier Extremwerte, die allesamt von Betrieb 2 (Punkt 3) stammten. Das TKG lag hier im Durchschnitt bei 13,1 g. Das Weglassen der Extremwerte ändert nichts daran, dass das TKG auf den konventionellen Betrieben signifikant höher war als auf den ökologischen Betrieben.

4.1.5 Anteil der Körner > 2 mm

Der Anteil K > 2 (Anteil der Körner > 2,00 mm) lag im Bereich von 42 – 99 %. Dieser war auf allen Betrieben, mit Ausnahme von Betrieb 1, auf den jeweils guten Standorten größer als auf den schlechten Standorten.

Tabelle 16: Statistiken des Anteils [%] der Körner > 2,00 mm von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

			Anteil [%] der Körner > 2,00 mm				
Betrieb	$Standort_{BGSE}$	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
1	gesamt	24	87	80	98	4,0	0,05
	gut	13	87	80	98	4,5	0,05
	schlecht	11	86	80	90	3,4	0,04
2	gesamt	21	93	42	97	11,8	0,13
	gut	12	96	93	97	1,0	0,01
	schlecht	9	89	42	97	17,7	0,20
3	gesamt	11	94	86	97	3,5	0,04
	gut	4	96	96	97	0,5	0,01
	schlecht	7	92	86	97	3,7	0,04
4	gesamt	42	97	95	99	0,9	0,01
	gut	22	98	96	99	0,6	0,01
	schlecht	20	97	95	99	0,9	0,01
5	gesamt	13	95	90	98	2,7	0,03
	gut	7	97	95	98	1,2	0,01
	schlecht	6	93	90	98	2,8	0,03
6	gesamt	13	93	85	95	3,2	0,03
	gut	6	95	94	95	0,5	0,00
	schlecht	7	91	85	94	3,4	0,04
7	gesamt	15	91	77	97	4,8	0,05
	gut	7	93	90	97	2,8	0,03
	schlecht	8	90	77	95	6,1	0,07

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

Der Anteil K > 2 war zwischen den Betrieben signifikant unterschiedlich (p < 0,001).

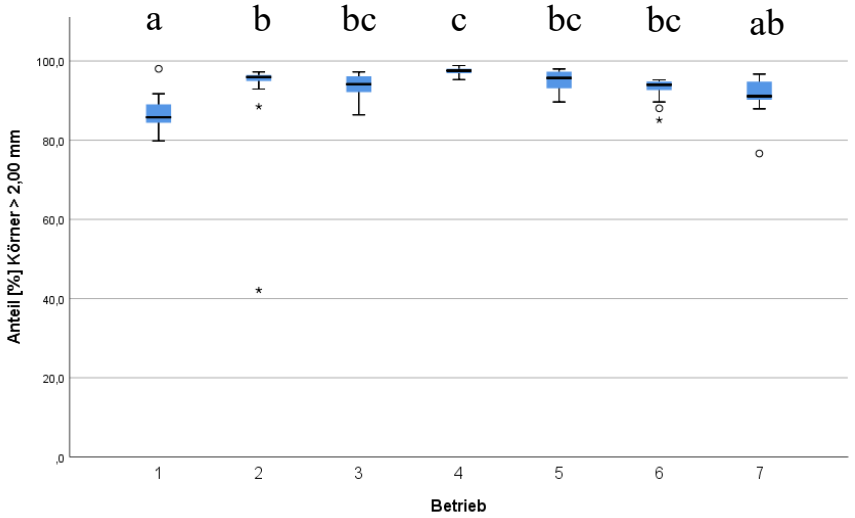


Abbildung 30: Einfluss des Faktors „Betrieb“ auf den Anteil [%] an Körnern > 2,00 mm von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05

Der untere mit Sternchen markierte Extremwert auf Betrieb 2 stammte von einer Probe von Punkt 3, die auch schon bei den anderen Eigenschaften niedrige Werte aufwies. Dort lag der Anteil K > 2 bei 42,1 %.

Alle Betriebe zusammen betrachtend war der Mittelwert des Anteils K > 2 auf den nach BGSE guten Standorten signifikant höher als auf den nach BGSE schlechten Standorten (p = 0,016). Für jeden Betrieb einzeln betrachtet, war der Anteil K > 2 auf Betrieb 4, 5 und 6 auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten. Auf Betrieb 3 war der Anteil K > 2 auf den guten Standorten in der Tendenz höher (p = 0,057) und auf Betrieb 1 und 2 ließ sich keine Signifikanz feststellen.

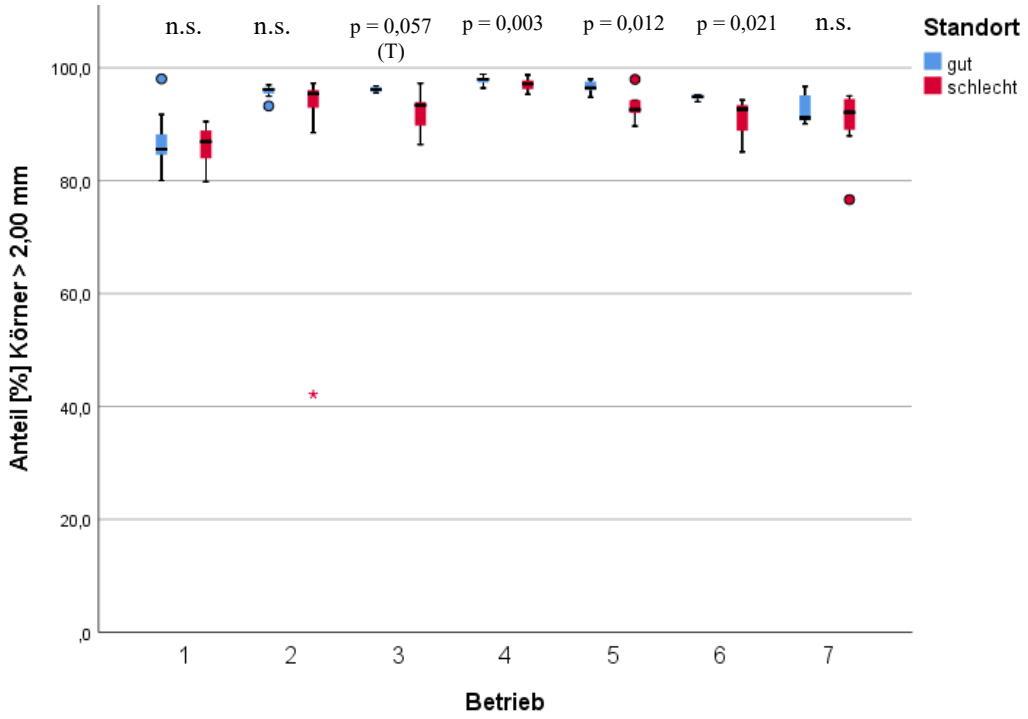


Abbildung 31: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf den Anteil [%] der Körner > 2,00 mm von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05);n.s. = nicht signifikant; T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10)

Die Standortunterschiede auf den einzelnen Feldern von Betrieb 1, 4, 6 und 7 waren auf beiden Feldern von Betrieb 1 und 7 nicht signifikant. Auf jeweils beiden Feldern von Betrieb 4 und Betrieb 6 war der Anteil K > 2 auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten.

Nach den Betriebsformen unterteilt, war der Anteil K > 2 auf den konventionellen Betrieben signifikant höher als auf den ökologischen (p < 0,001). Das Ergebnis bleibt auch unter Ausschluss von Betrieb 3 dasselbe.

Tabelle 17: Statistiken des Anteils [%] an Körnern > 2,00 mm aus dem Erntejahr 2019 von punktuellen Probennahmen aufgeteilt in die Betriebsformen „konventionell" und „ökologisch"

		Anteils [%] an Körnern > 2,00 mm				
Betriebsform	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
konventionell	94	95	76,6	99	3,6	0,04
ökologisch	45	90	42,1	98	9,0	0,10

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

4.1.6 Hektolitergewicht

Das HLG [kg/hl] lag in einem Bereich von 38,4 – 56,7 kg/hl. Auf allen Betrieben, mit Ausnahme von Betrieb 5, war das durchschnittliche HLG auf den nach BGSE guten Standorten höher als auf den nach BGSE schlechten Standorten. Auf Betrieb 5 war das HLG auf beiden Standorten gleich hoch. Bei Betrachtung beider Standorte wurde das höchste HLG mit 50,7 kg/hl auf Betrieb 4 gemessen, dicht gefolgt von Betrieb 5 mit 50,6 kg/hl und Betrieb 2 mit 50,1 kg/hl. Das niedrigste HLG wurde auf Betrieb 7 mit 44,2 kg/hl gemessen.

Tabelle 18: Statistiken des HLG [kg/hl] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

			HLG [kg/hl]				
Betrieb	$Standort_{BGSE}$	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
1	gesamt	24	45,9	38,4	49,9	2,9	0,06
	gut	13	47,7	44,7	49,9	1,7	0,04
	schlecht	11	43,9	38,4	47,7	2,6	0,06
2	gesamt	20	50,1	47,6	52,1	1,4	0,03
	gut	12	50,4	49,3	52,1	0,9	0,02
	schlecht	8	49,5	47,6	51,5	1,8	0,04
3	gesamt	11	47,2	41,5	51,4	3,7	0,08
	gut	4	50,3	48,4	51,4	1,4	0,03
	schlecht	7	45,4	41,5	49,4	3,4	0,08
4	gesamt	42	50,7	41,1	56,7	2,7	0,05
	gut	22	51,6	49,0	56,7	1,7	0,03
	schlecht	20	49,7	41,1	55,4	3,1	0,06
5	gesamt	13	50,6	49,3	52,1	0,9	0,02
	gut	7	50,5	49,3	52,1	0,6	0,01
	schlecht	6	50,5	49,8	51,1	0,6	0,01
6	gesamt	13	47,7	45,5	50,2	1,4	0,03
	gut	6	49,0	48,1	50,2	0,9	0,02
	schlecht	7	46,6	45,5	47,4	0,6	0,01
7	gesamt	15	44,2	39,0	47,9	2,5	0,06
	gut	7	44,7	42,4	47,5	1,7	0,04
	schlecht	8	43,7	39,0	47,9	3,1	0,07

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

Das HLG war zwischen den Betrieben mit einem p-Wert von < 0,000 signifikant unterschiedlich.

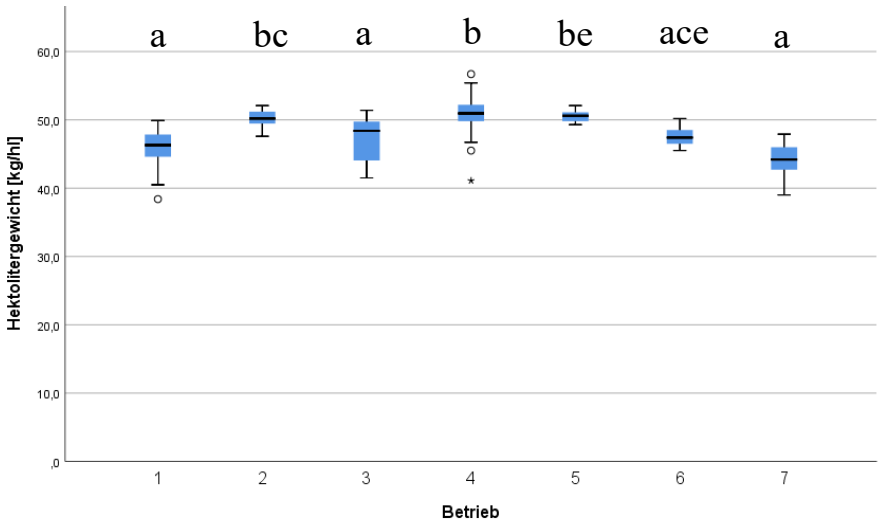


Abbildung 32: Einfluss des Faktors „Betrieb“ auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05

Im Vergleich der beiden nach BGSE eingeteilten Standorte in gut und schlecht war das HLG signifikant höher auf den guten Standorten. Werden die Standortunterschiede für jeden Betrieb einzeln betrachtet war das HLG auf Betrieb 1, 3, 4, und 6 auf den jeweils guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten. Auf Betrieb 5 und 7 waren die Unterschiede nicht signifikant.

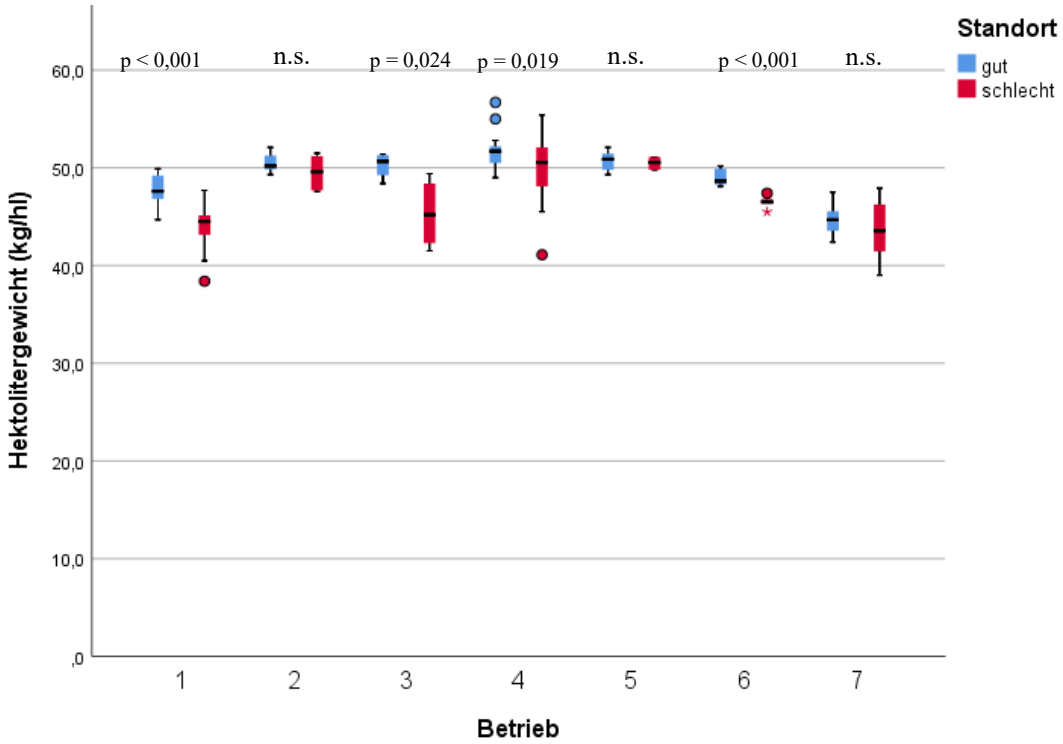


Abbildung 33: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05);n.s. = nicht signifikant

Im nächsten Schritt wurde das HLG auf den Betrieben 1, 4, 6 und 7 nach dem Faktor BGSE-Standortgüte auf den verschiedenen Feldern der Betriebe auf Signifikanz überprüft. Auf beiden Feldern von Betrieb 1 und auf Feld 1 von Betrieb 6 war das HLG auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten. Auf beiden Feldern von Betrieb 4 und auf Feld zwei von Betrieb 6 ließ sich dies ebenfalls in der Tendenz erkennen. Auf beiden Feldern von Betrieb 7 konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

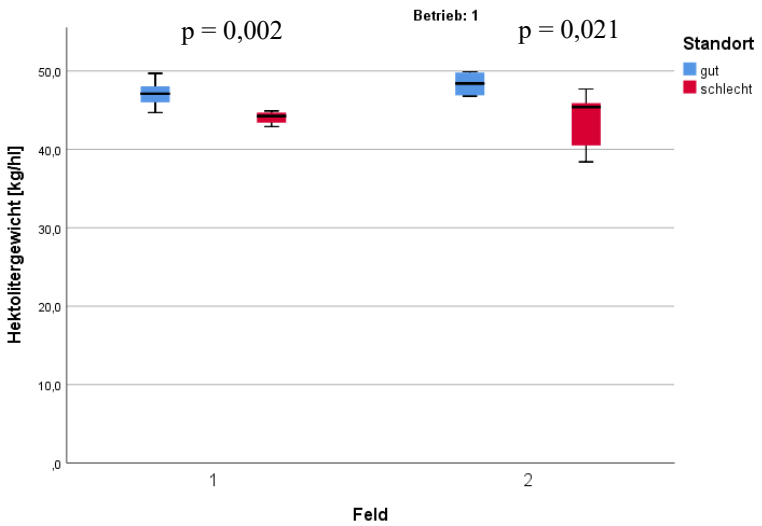


Abbildung 34: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 1 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05)

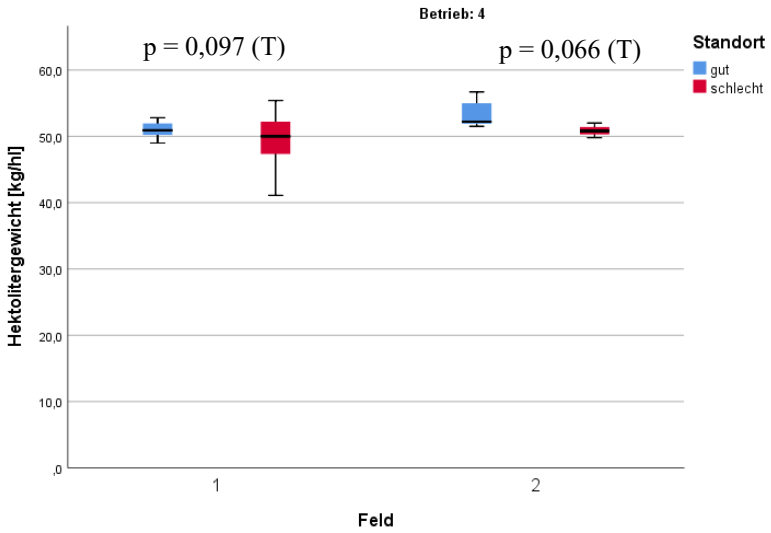


Abbildung 35: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 4 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10).

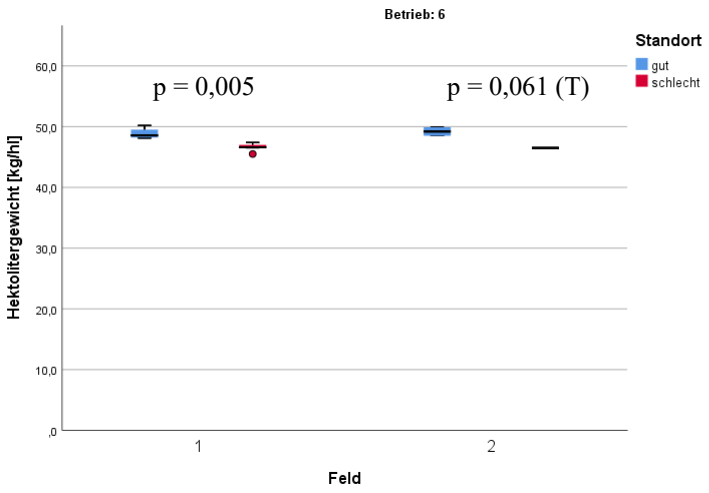


Abbildung 36: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10)

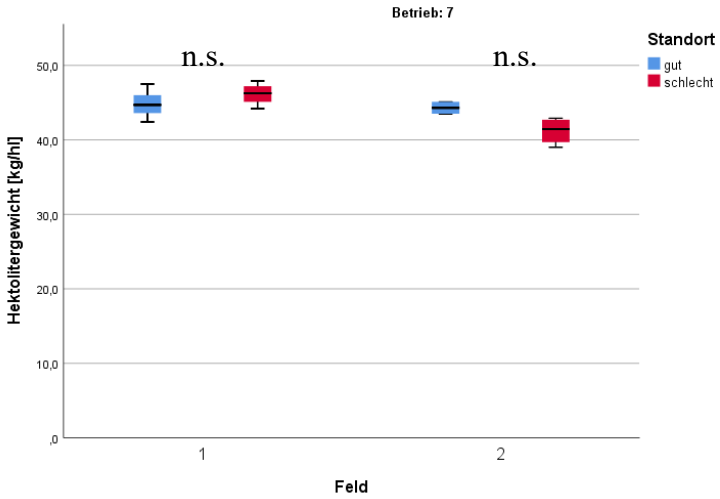


Abbildung 37: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf das HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 7 je Feld im Erntejahr 2019. n.s. = nicht signifikante Unterschiede zwischen den Standorten bei einem Niveau von α = 0,05

Der Unterschied des HLG zwischen den Betriebsformen konventionell und ökologisch war nicht signifikant (p = 0,101). Das HLG betrug im Durchschnitt auf den konventionellen Betrieben 48,8 kg/hl und auf den ökologischen Betrieben 47,8 kg/hl.

4.1.7 Spelzanteil

Der Spelzanteil schwankte auf den nach BGSE guten Standorten in einem Bereich von 23,6 – 47,8 % und auf den nach BGSE schlechten Standorten von 13,4 – 54,5 %. Dabei waren die 13,4 % ein Extremfall auf Betrieb 1, wie in Abbildung 39 ersichtlich ist. Mit Ausnahme von Betrieb 7 lag der Spelzanteil auf den nach BGSE schlechten

Standorten des jeweiligen Betriebs über dem Spelzanteil der nach BSGE guten Standorte. Der Korrelationskoeffizient war auf Betrieb 1 auf den schlechten Standorten am größten.

Tabelle 19: Statistiken des Spelzanteil [%] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

			Spelzanteil [%]				
Betrieb	$Standort_{BGSE}$	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
1	gesamt	24	41,0	13,4	54,5	8,1	0,20
	gut	13	39,7	34,7	47,8	4,4	0,11
	schlecht	11	42,6	13,4	54,5	11,0	0,26
2	gesamt	20	31,6	26,7	34,2	1,8	0,06
	gut	12	31,1	26,7	33,0	2,1	0,07
	schlecht	8	32,3	31,1	34,2	1,2	0,04
3	gesamt	11	29,3	23,6	35,2	4,0	0,14
	gut	4	26,6	23,6	31,0	3,2	0,12
	schlecht	7	30,9	26,0	35,2	3,8	0,12
4	gesamt	42	27,3	23,7	35,4	2,0	0,07
	gut	22	27,2	23,7	35,4	2,4	0,09
	schlecht	20	27,4	24,4	30,0	1,6	0,06
5	gesamt	13	28,4	24,4	31,8	2,1	0,07
	gut	7	27,13	24,4	30,7	2,4	0,09
	schlecht	6	30,0	28,8	31,8	1,3	0,04
6	gesamt	13	33,0	29,0	37,0	2,5	0,08
	gut	6	32,1	29,0	35,5	2,1	0,07
	schlecht	7	33,9	29,4	37,0	2,7	0,08
7	gesamt	15	34,7	31,8	39,6	2,6	0,08
	gut	7	34,9	31,8	39,6	2,8	0,08
	schlecht	8	34,6	31,8	38,1	2,7	0,08

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

Der Spelzanteil war zwischen den Betrieben signifikant unterschiedlich ($p < 0{,}001$).

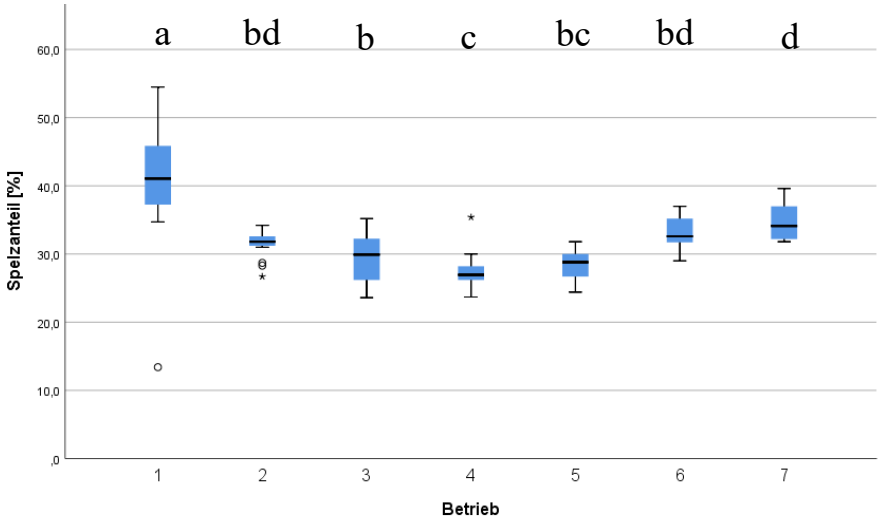


Abbildung 38: Einfluss des Faktors „Betrieb“ auf den Spelzanteil [%] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05

Der Spelzanteil war zwischen den Standorten „gut“ und „schlecht“ nicht signifikant. Für jeden Betrieb einzeln durchgeführt ergab sich lediglich auf Betrieb 5 ein signifikant höherer Spelzanteil auf den schlechten Standorten ($p = 0{,}027$) und auf Betrieb 3 war der Spelzanteil in der Tendenz auf den schlechten Standorten höher ($p = 0{,}089$). Auf den anderen Betrieben ließen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen.

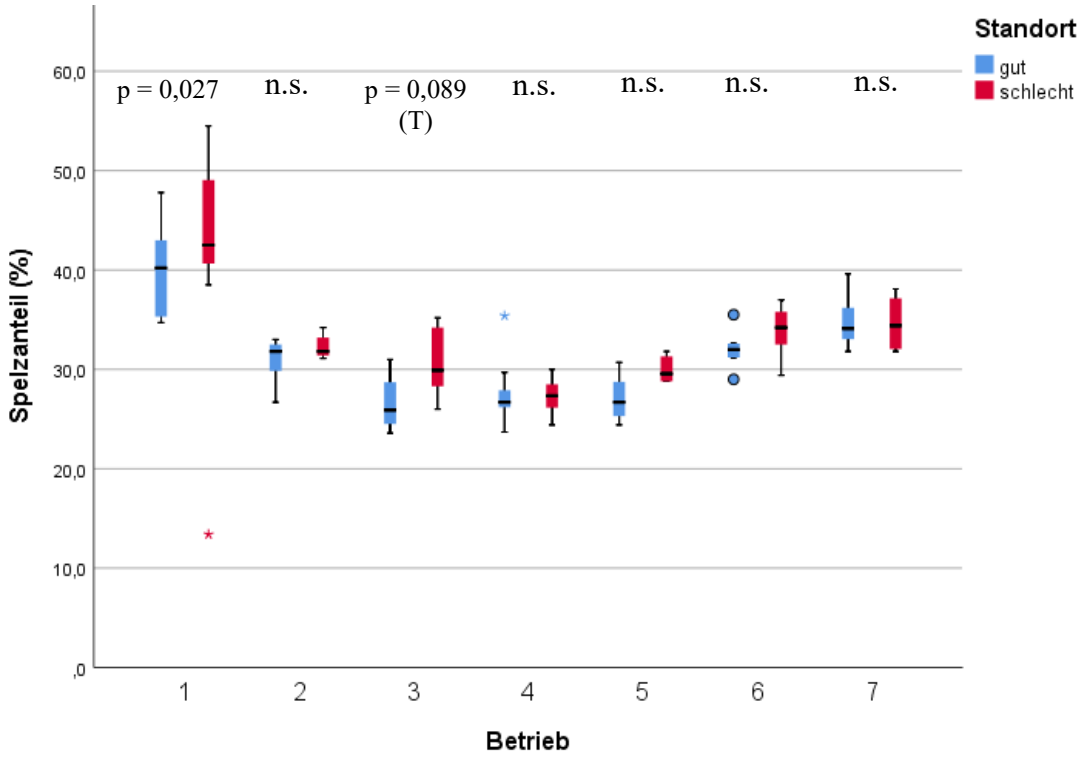


Abbildung 39: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf den Spelzanteil [%] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019 je Betrieb. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Betrieb (α = 0,05);n.s. = nicht signifikant; T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10)

Die Unterschiede des Spelzanteils zwischen den Standorten je Feld waren auf den Betrieben 1, 4, 6 und 7 auf keinem Feld signifikant.

Der Spelzanteil war auf den ökologischen Betrieben signifikant höher als auf den konventionellen ($p < 0{,}001$). Der durchschnittliche Spelzanteil lag auf den konventionellen Betrieben bei 29,7 % und auf den ökologischen Betrieben bei 36,7 %.

4.1.8 Beta-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$

Der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ schwankte zwischen 4,95 – 6,07 % auf Betrieb 3, zwischen 5,09 – 5,90 % auf Betrieb 6 und war je Betrieb auf den nach BGSE schlechten Standorten etwas höher als auf den nach BGSE guten Standorten.

Tabelle 20: Statistiken des β-Glucan-Gehalts$_{NIRS}$ [%] von Haferproben auf den Betrieben 3 und 6 im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

			B-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ [%]				
Betrieb	Standort$_{BGSE}$	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
3	gesamt	10	5,57	4,95	6,07	0,43	0,08
	gut	4	5,53	5,02	5,91	0,41	0,07
	schlecht	6	5,59	4,95	6,07	0,48	0,09
6	gesamt	10	5,48	5,09	5,90	0,27	0,05
	gut	5	5,30	5,09	5,68	0,23	0,04
	schlecht	5	5,66	5,46	5,90	0,17	0,03

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

Der β-Glucan- Gehalt$_{NIRS}$ war zwischen den Betrieben nicht signifikant unterschiedlich. Für beide Betriebe gemeinsam betrachtet hatte der Faktor BGSE-Standortgüte keinen signifikanten Effekt auf den β-Glucan-Gehalt. Für die einzelnen Betriebe betrachtet, gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Standorten von Betrieb 3, und auf Betrieb 6 war der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ auf den schlechten Standorten signifikant höher, als auf den guten Standorten.

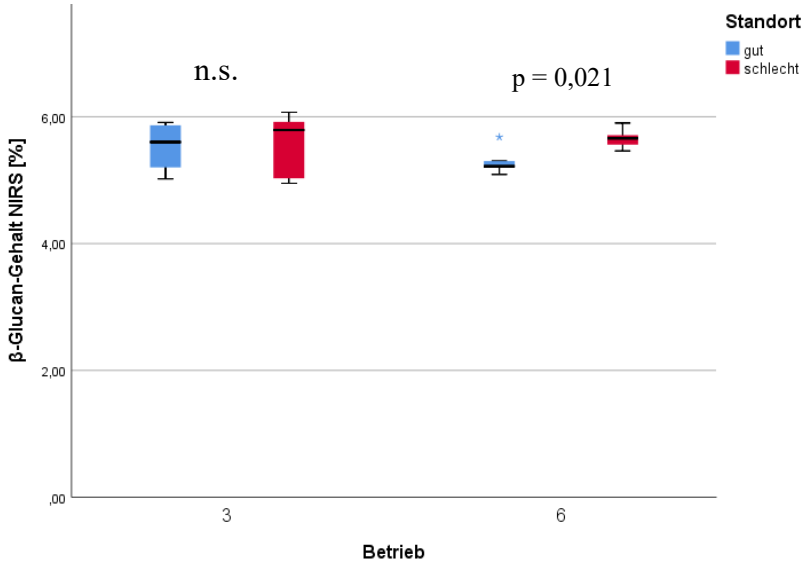


Abbildung 40: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf den β-Glucan- Gehalt$_{NIRS}$ [%] von Haferproben auf den Betrieben 3 und 6 im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant

Da auf Betrieb 6 zwei Felder beprobt wurden, wurde der Standorteffekt auf den einzelnen Feldern von Betrieb 6 ebenfalls auf Signifikanz überprüft. Lediglich auf Feld zwei ließ sich in der Tendenz ein höherer β-Glucan-Gehalts$_{NIRS}$ auf den schlechten Standorten erkennen (Abb. 41).

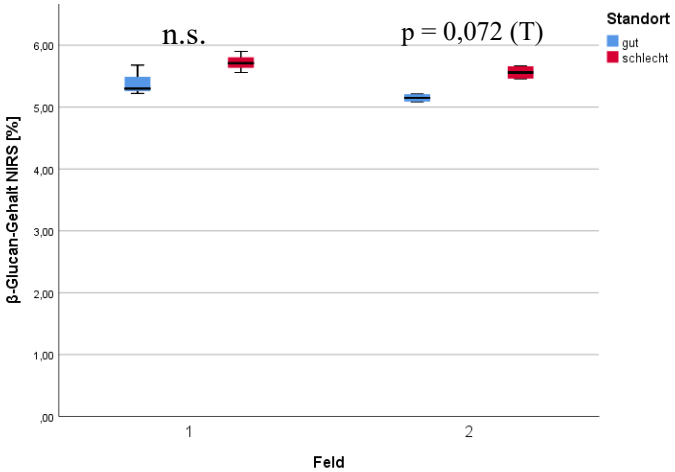


Abbildung 41: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf den β-Glucan- Gehalt$_{NIRS}$ [%] von Haferproben auf Betrieb 6 je Feld im Erntejahr 2019. n.s. = nicht signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld bei einem Niveau von α = 0,05; T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10)

4.1.9 Beta-Glucan-Gehalt$_{AAS}$

Der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ schwankte zwischen 2,4 – 3,4 % auf Betrieb 3 und zwischen 2,6 – 3,9 % auf Betrieb 6. Der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ war auf den nach BGSE guten Standorten etwas höher als auf den nach BGSE schlechten Standorten.

Tabelle 21: Statistiken des β-Glucan-Gehalts$_{AAS}$ [%] von Haferproben auf den Betrieben 1 und 7 im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

			β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ [%]				
Betrieb	Standort$_{BGSE}$	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
1	gesamt	16	3,08	2,4	3,4	0,30	0,10
	gut	8	3,11	2,8	3,3	0,16	0,05
	schlecht	8	3,04	2,4	3,4	0,40	0,13
7	gesamt	8	3,75	2,6	3,9	0,09	0,02
	gut	4	3,78	3,7	3,8	0,05	0,01
	schlecht	4	3,73	3,6	3,9	0,13	0,03

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

Der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ war auf Betrieb 7 signifikant höher als auf Betrieb 1 ($p < 0,001$). Für alle Betriebe gesamt und auch einzeln betrachtet, hatte der der Faktor BGSE-Standortgüte keinen signifikanten Einfluss auf den β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$.

Werden die Betriebe in die jeweiligen Felder aufgeteilt, war der Effekt der BGSE-Standortgüte ebenfalls nicht signifikant. Lediglich auf Feld eins von Betrieb 1 war der β-Glucan-Gehalt$_{ASS}$ auf den schlechten Standorten in der Tendenz höher als auf den guten Standorten (p = 0,059).

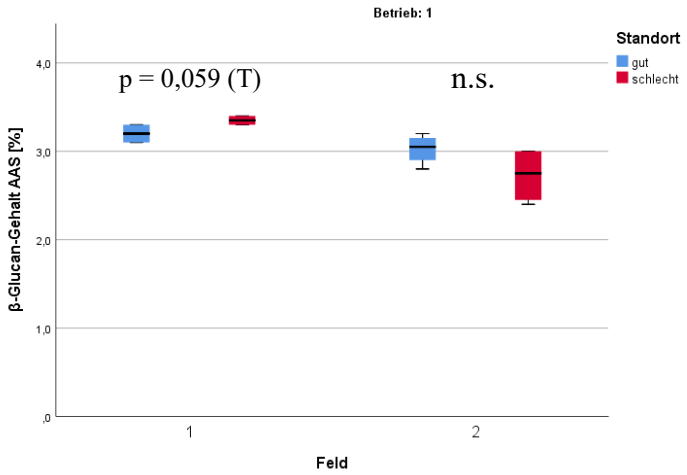


Abbildung 42: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf den β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ [%] von Haferproben auf Betrieben 1 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant; T = tendenzielle Unterschiede (0,05 < p ≤ 0,10)

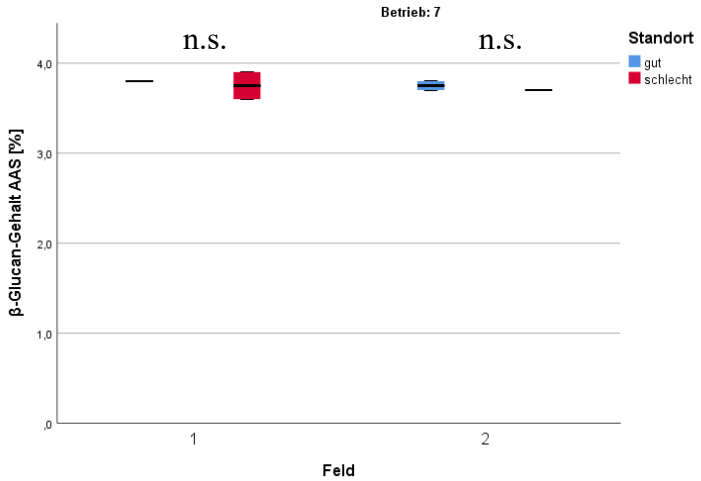


Abbildung 43: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf den β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ [%] von Haferproben auf Betrieben 7 je Feld im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld (α = 0,05); n.s. = nicht signifikant

4.1.10 Proteingehalt

Der Proteingehalt schwankte zwischen 9,9 – 13,9 % auf Betrieb 1 und zwischen 13,9 – 17,9 % auf Betrieb 6. Der Proteingehalt war im Vergleich der beiden Standorte auf

Betrieb 1 auf den guten Standorten höher und auf Betrieb 7 auf den schlechten Standorten höher.

Tabelle 22: Statistiken des Proteingehalts [%] von Haferproben auf den Betrieben 1 und 7 im Erntejahr 2019 insgesamt und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

			Proteingehalt [%]				
Betrieb	$Standort_{BGSE}$	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	CV
1	gesamt	16	12,3	9,9	13,9	1,24	0,10
	gut	8	12,9	11,3	13,9	0,99	0,08
	schlecht	8	11,8	9,9	13,4	1,29	0,11
7	gesamt	8	15,8	13,9	17,9	1,15	0,07
	gut	4	15,1	13,9	16,0	0,94	0,06
	schlecht	4	16,6	15,8	17,9	0,93	0,06

SD = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient

Auf Betrieb 7 war der Proteingehalt signifikant höher als auf Betrieb 1 ($p < 0{,}001$). Der Einfluss der BGSE-Standortgüte war allgemein für beide Betriebe gemeinsam betrachtet nicht signifikant. Auf jedem Betrieb einzeln, ergab sich jedoch eine Tendenz: Auf Betrieb 1 war der Proteingehalt auf den guten Standorten tendenziell höher und auf Betrieb 7 war er auf den guten Standorten tendenziell niedriger.

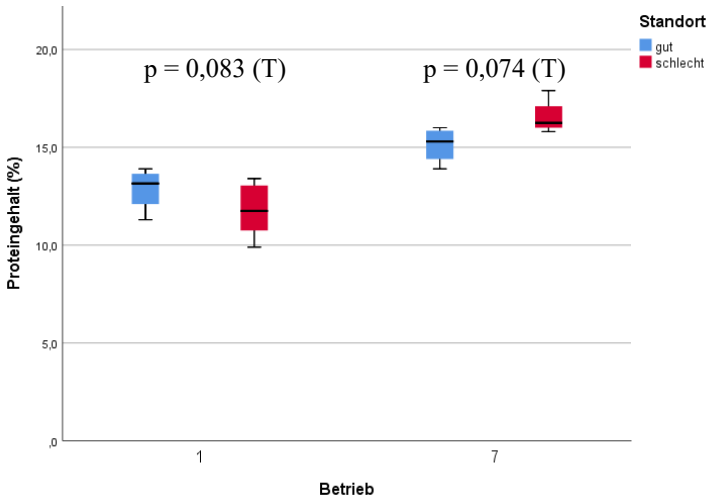


Abbildung 44: Einfluss des Faktors „BGSE-Standortgüte" auf den Proteingehalt [%] von Haferproben auf den Betrieben 1 und 7 im Erntejahr 2019. Die p-Werte kennzeichnen die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede zwischen den Standorten je Feld ($\alpha = 0{,}05$); n.s. = nicht signifikant; T = tendenzielle Unterschiede ($0{,}05 < p \leq 0{,}10$).

Werden die einzelnen Felder der Betriebe auf signifikante Standortunterschiede überprüft, waren die Unterschiede nicht signifikant. Lediglich auf Feld zwei von Betrieb 1 war der Proteingehalt tendenziell auf den guten Standorten höher.

4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Varianzanalyse

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Varianzanalyse in zwei Tabellen zusammengefasst. Tabelle 23 bezieht sich auf die pflanzenbaulichen und physikalischen Eigenschaften des Hafers und Tabelle 24 fasst die Ergebnisse der biochemischen Qualitätseigenschaften zusammen. Es werden nur die p-Werte angegeben, die signifikante Unterschiede widerspiegelten ($p \leq 0{,}05$) oder eine Tendenz erkennen ließen ($0{,}05 < p \leq 0{,}10$). Als Varianzursachen wurden Betrieb, Betriebsform, Sorte und BGSE-Standortgüte betrachtet.

Darüber hinaus ist aufgrund des häufigen Herausstechens von Betrieb 3 in einigen Eigenschaften, der Einfluss des Faktors Betrieb auf die pflanzenbaulichen und physikalischen Eigenschaften, ein weiteres Mal auf Signifikanz unter Ausschluss von Betrieb 3 geprüft worden ist. Auch ohne Betrieb 3 blieb der Einfluss des Faktors Betrieb gleich und die Unterschiede waren signifikant. Deshalb wurden diese Ergebnisse nicht nochmal extra in der Tabelle aufgeführt.

Tabelle 23: Ergebnisse (p-Werte) der Varianzanalysen von den pflanzenbaulichen und physikalischen Eigenschaften nach den Faktoren Betrieb, Betriebsform, Sorte und BGSE-Standortgüte

Varianzursache	Analysierte Betriebe/Felder	Ertrag [dt/ha]	Bestandes - höhe [cm]	Rispendichte [Stk/m²]	TKG [g]	HLG [kg/hl]	Anteil [%] K > 2 mm	Spelzanteil [%]
Betrieb	gesamt	<0,001*	0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*
Betriebsform	gesamt	<0,001*	n.s.	<0,001*	<0,001*	n.s.	<0,001*	<0,001*
Betriebsform	gesamt ohne B3	n.s.	n.s.	n.s.	<0,001*	n.s.	<0,001*	<0,001*
Sorte	gesamt	<0,001*	n.s.	<0,001*	<0,001*	<0,001*	n.s.	<0,001*
	gesamt ohne B3	0,077 (T)	-	0,005*	<0,001*	<0,001*	n.s.	<0,001*
BGSE-Standortgüte	gesamt	<0,001*	<0,001*	n.s.	<0,001*	<0,001*	0,016*	n.s.
	B1	<0,001*	<0,001*	0,022*	n.s.	<0,001*	n.s.	n.s.
	B1, Feld 1	0,004*	0,003*	0.011*	n.s.	0,002*	n.s.	n.s.
	B1, Feld 2	<0,001*	0,008*	n.s.	n.s.	0,021*	n.s.	n.s.
	B2	<0,001*	0,012*	n.s.	0,008*	n.s.	n.s.	n.s.
	B3	<0,001*	0,009*	<0,001*	<0,001*	0,024*	0,057 (T)	0,089 (T)
	B4	<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	0,019*	0,003*	n.s.
	B4 Feld 1	<0,001*	0,022*	0,001*	<0,001*	0,097 (T)	0,011*	n.s.
	B4 Feld 2	<0,001*	0,016*	0,001*	<0,001*	0,066 (T)	0,034*	n.s.
	B5	<0,001*	0,003*	n.s.	<0,001*	n.s.	0,012*	0,027*
	B6	<0,001*	0,012*	n.s.	<0,001*	<0,001*	0,021*	n.s.
	B6 Feld 1	<0,001*	0,036*	n.s.	<0,001*	0,005*	0,026*	n.s.
	B6 Feld 2	0,002*	0,078 (T)	n.s.	0,004*	0,061 (T)	n.s.	n.s.
	B7	0,016*	n.s.	n.s.	0,090 (T)	n.s.	n.s.	n.s.
	B7 Feld 1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	B7 Feld 2	<0,001*	0,093 (T)	n.s.	0,002*	n.s.	n.s.	n.s.

* signifikante Unterschiede bei einem Niveau von $\alpha = 0{,}05$ T = tendenzielle Unterschiede ($0{,}05 < p \leq 0{,}10$).
n.s. = nicht signifikant

Tabelle 24: Ergebnisse (p-Werte) der Varianzanalysen von den biochemischen Qualitätseigenschaften nach den Faktoren Betrieb und BGSE-Standortgüte

Varianzursache	einbezogene Betriebe	β-Glucan-Gehalt NIRS (%)	β-Glucan-Gehalt chemisch (%)	Proteingehalt (%)
Betrieb	B3 und B6	n.s.	-	-
	B1 und B7	-	<0,001*	<0,001*
BGSE-Standortgüte	B3 und B6	n.s.	-	-
	B3	n.s.	-	-
	B6	0,021*	-	-
	B6 Feld 1	n.s.		
	B6 Feld 2	0,072 (T)		
	B1 und B7	-	n.s.	n.s.
	B1	-	n.s.	0,083 (T)
	B1 Feld 1		0,059 (T)	n.s.
	B1 Feld 2		n.s.	0,067 (T)
	B7	-	n.s.	0,074 (T)
	B7 Feld 1		n.s.	n.s.
	B7 Feld 2		n.s.	n.s.

* signifikante Unterschiede bei einem Niveau von $\alpha = 0{,}05$
T = tendenzielle Unterschiede ($0{,}05 < p \leq 0{,}10$).
n.s. = nicht signifikant

4.3 Einfluss des Faktors „Sorte“

Der Sorteneffekt auf den Ertrag war signifikant ($p < 0{,}001$). Auf Betrieb 3 und 6 wurde die Sorte Ivory angebaut. Wie in Abbildung 45 ersichtlich, war die Spannweite für diese Sorte am größten. Da auf Betrieb 3 der mit Abstand höchste Ertrag gemessen wurde, ist der Sorteneffekt auf den Ertrag ein weiteres Mal ohne Betrieb 3 auf Signifikanz überprüft worden. Bei einem p- Wert von 0,077 ließ sich dann nur noch eine Tendenz erkennen. Im jeweiligen Paarvergleich der Sorten ließen sich ohne Betrieb 3 keine signifikanten Unterschiede feststellen.

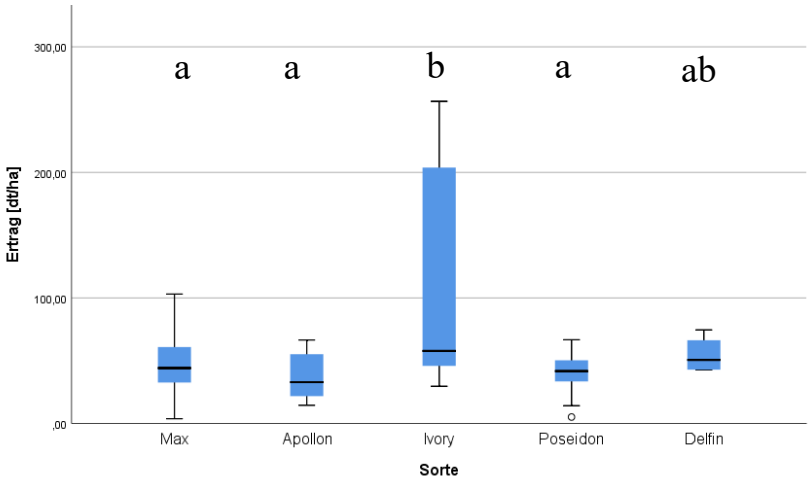


Abbildung 45: Einfluss des Faktors „Sorte" auf den Ertrag [dt/ha] von Haferproben im Erntejahr 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei einem Niveau von α=0,05

4.4 Zusammenhänge von Eigenschaften

4.4.1 Ertrag und pflanzenbauliche/physikalische Eigenschaften

Im Tabelle 25 sind die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen Ertrag und den verschiedenen pflanzenbaulichen und physikalischen Eigenschaften des Hafers zusammengefasst. Es wurde jeweils das Bestimmtheitsmaß R^2 des linearen Zusammenhangs angegeben. Die Korrelationen waren immer positiv, bis auf die Korrelation zwischen Ertrag und Rispendichte auf den Betrieben 2 und 5, und zwischen Ertrag und Spelzanteil auf den Betrieben 1 - 6.

Tabelle 25: Zusammenhang des Ertrags mit den jeweiligen Eigenschaften (pflanzenbaulich/physikalisch) des Hafers auf den Betrieben insgesamt und auf jedem einzelnen Betrieb

	Analysierte Betriebe							
Eigenschaften	Gesamt (B1 –B7)	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3	Betrieb 4	Betrieb 5	Betrieb 6	Betrieb 7
	R^2	R^2	R^2	R^2	R^2	R^2	R^2	R^2
Bestandeshöhe [cm]	0,224*	0,722*	0,325	0,144	0,818*	0,961*	0,465*	0,640*
Rispendichte [Stk/m²]	0,839*	0,109*	0,206*	0,281*	0,587*	0,000	0,352*	0,253(T) p=0,082
TKG [g]	0.135*	0,027	0,719*	0,635*	0,358*	0,567*	0,500**	0,480*
Anteil [%] Körner > 2 mm	0,002	0,064	0,400*	0,596*	0,271*	0,141	0,271*	0,533*
HLG [kg/hl]	0,001	0,142 (T)	0,208*	0,602*	0,280*	0,079	0,535*	0,244 (T)
Spelzanteil [%]	0,029*	0,170*	0,416*	0,547*	0,039	0,014	0,024	0,052

* signifikante Unterschiede bei einem Niveau von $\alpha = 0{,}05$ T = tendenzielle Unterschiede ($0{,}05 < p \leq 0{,}10$).

Der Zusammenhang zwischen Ertrag und Bestandeshöhe war für alle Betriebe zusammen betrachtet nicht besonders hoch. In Abbildung 46 sind elf Punkte mit einem sehr hohen Ertrag zu erkennen, die allesamt zu Betrieb 3 gehören. Da die Betriebe teilweise so unterschiedlich Werte im Ertrag und der Bestandeshöhe aufwiesen, wurde der Zusammenhang für jeden Betrieb einzeln betrachtet. Der stärkste signifikante Zusammenhang zwischen Bestandeshöhe und Ertrag ergab sich auf Betrieb 5, wo sich 96,1 % der Varianz des Ertrags durch die Bestandeshöhe erklären ließen. Die Streudiagramme der anderen Betriebe können im Anhang in den Abbildungen A 1 – A 6 eingesehen werden.

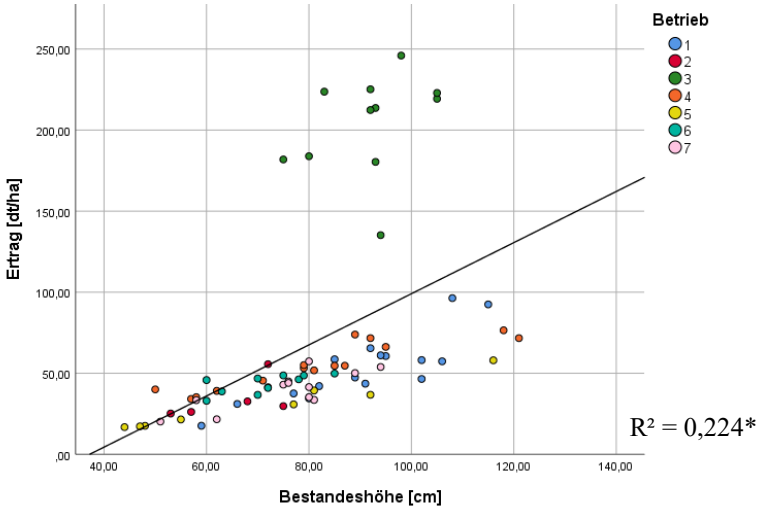


*Abbildung 46: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und der Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

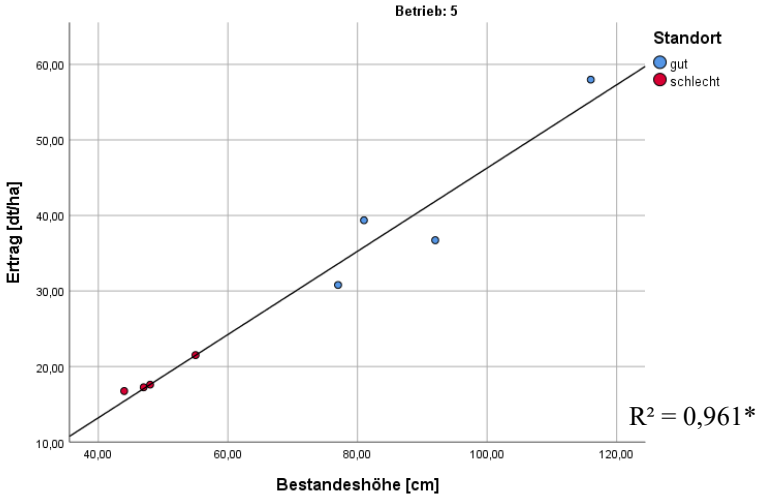


*Abbildung 47: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und der Bestandeshöhe [cm] von Haferproben auf Betrieb 5 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Der Einfluss der Rispendichte auf den Ertrag war mit einem R^2 von 0,839 sehr hoch. Dies lässt sich allerdings durch den Hebeleffekt von Betrieb 3 erklären, auf dem mit Abstand die höchste Dichte verzeichnet wurde (Abb. 48). Für jeden Betrieb einzeln betrachtet, war der Zusammenhang nicht mehr ganz so stark, aber dennoch signifikant, mit Ausnahme von Betrieb 5 und Betrieb 7. Auf Betrieb 5 ließ sich gar keinen Zusammenhang erkennen und auf Betrieb 7 war der Zusammenhang nur in der Tendenz vorhanden ($p = 0{,}082$). Auf Betrieb 4 war der signifikante Zusammenhang am stärksten und es ließen sich 58,7 % der Varianz des Ertrags durch die Rispendichte erklären (Abb. 49).

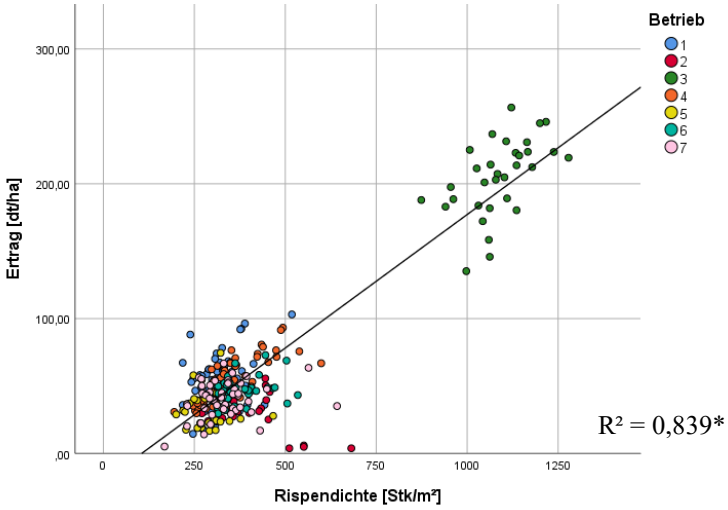


*Abbildung 48: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

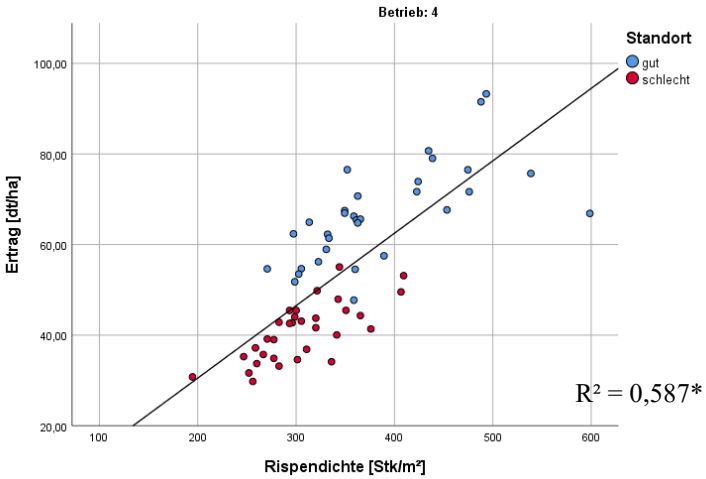


*Abbildung 49: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 4 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Der Zusammenhang zwischen Ertrag und Tausendkorngewicht war für alle Betriebe gemeinsam betrachtet nicht besonders hoch (Abb. 50). Wieder lässt sich erkennen, dass

sich Betrieb 3 sehr von den anderen Betrieben abhebt. Auf jedem Betrieb, mit Ausnahme von Betrieb 1, war der Zusammenhang zwischen TKG und Ertrag signifikant. Auf Betrieb 2 und Betrieb 3 war der Zusammenhang am höchsten. 71,9 % der Varianz des TKG auf Betrieb 2 und 63,5 % auf Betrieb 3 ließen sich durch den Ertrag erklären. Allerdings ist das hohe R^2 auf Betrieb 2 durch einen Hebeleffekt der unteren vier Punkte zu erklären (Abb. 51)

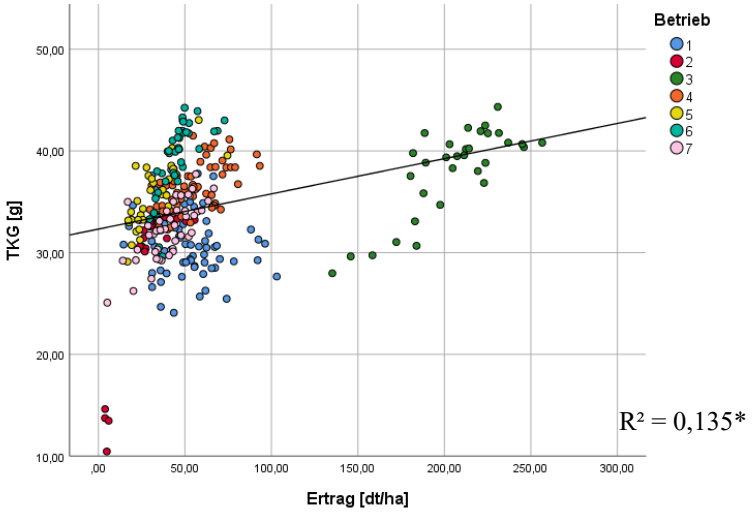


*Abbildung 50: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des TKG [g] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

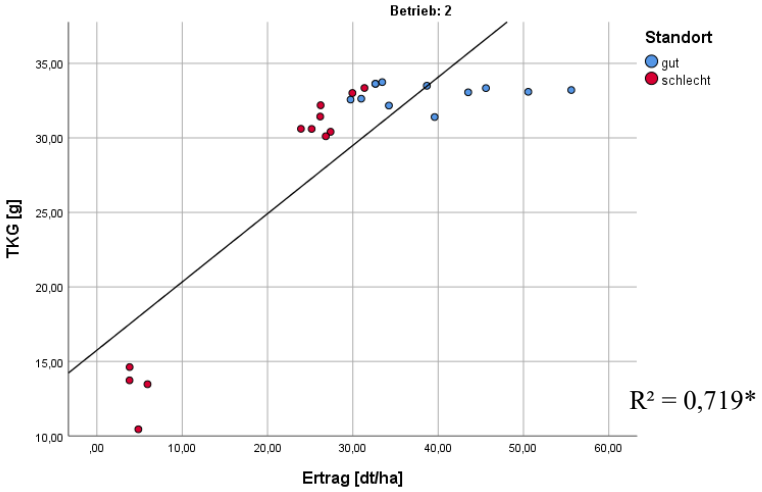


*Abbildung 51: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 2 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

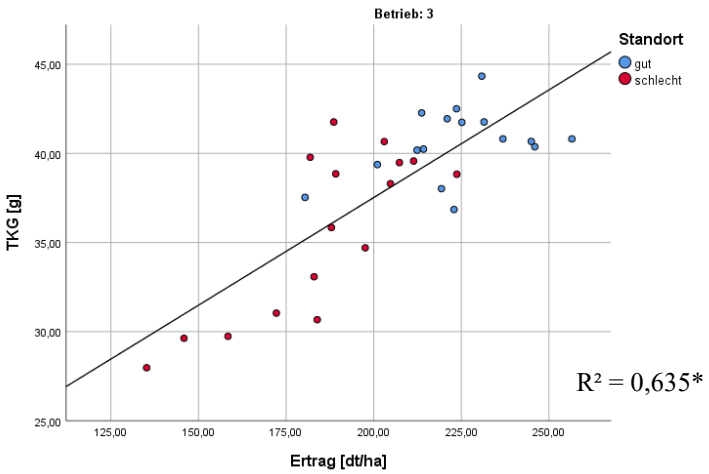


*Abbildung 52: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des TKG [g] von Haferproben auf Betrieb 3 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Der Zusammenhang zwischen Ertrag und dem Anteil der Körner > 2,00 mm war für alle Betriebe gemeinsam betrachtet sehr gering und nicht signifikant (Abb. 53).

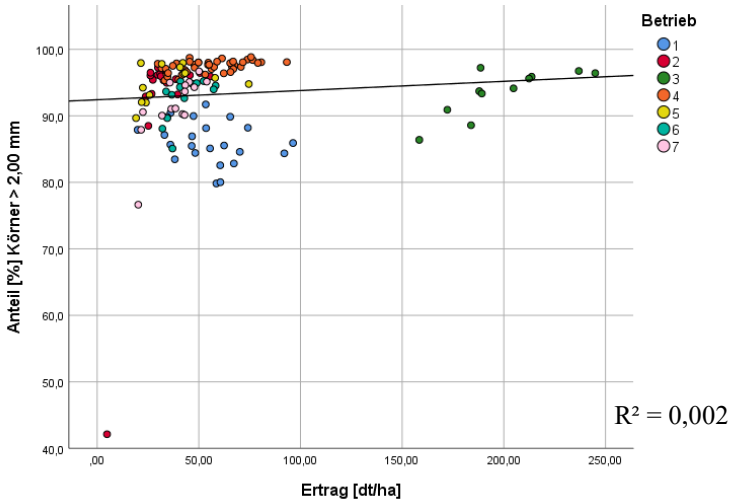


Abbildung 53: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Anteils [%] an Körnern > 2,00 mm von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019

Für jeden Betrieb einzeln betrachtet, ergab sich der stärkste Zusammenhang zwischen Ertrag und Anteil K >2 auf Betrieb 3, wo sich 59,6 % der Varianz des Anteils an K > 2 durch den Ertrag erklären ließen.

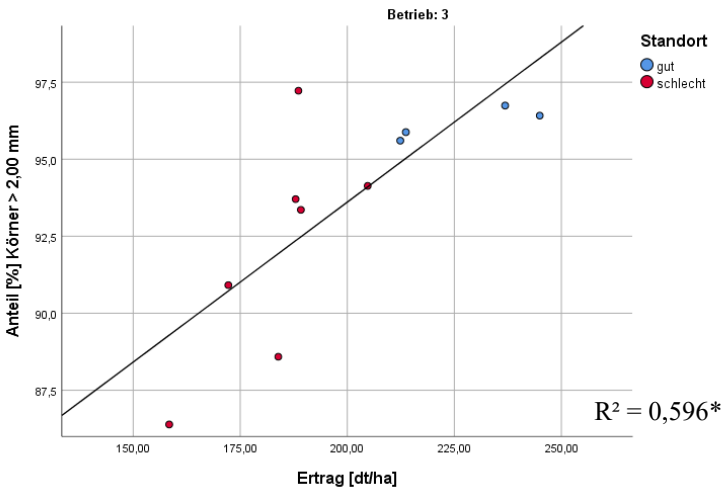


*Abbildung 54: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Anteils [%] an Körnern > 2,00 mm von Haferproben auf Betrieb 3 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Der Einfluss des Ertrags auf das HLG war auf den Betrieben 2, 3, 4 und 6 signifikant und auf den Betrieben 1 und 7 ließ sich eine Tendenz erkennen.

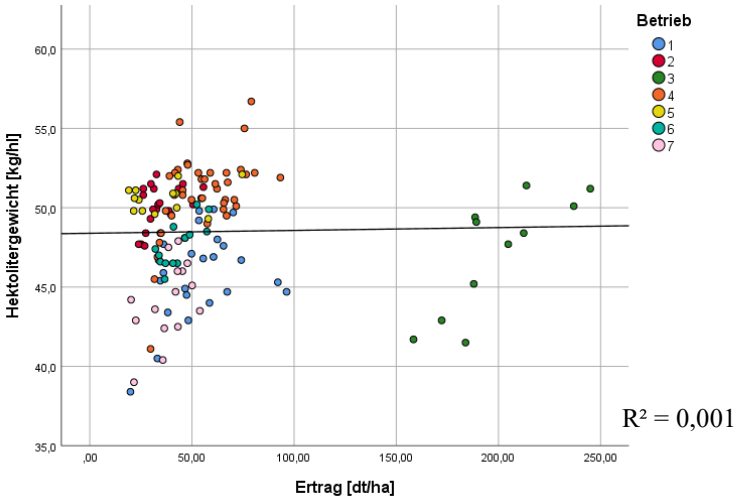


Abbildung 55: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Anteils [%] an Körnern > 2,00 mm von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019

Der stärkste Zusammenhang zwischen Ertrag und HLG ergab sich auf Betrieb 3, wo sich 60,2 % der Varianz durch den Ertrag erklären ließen.

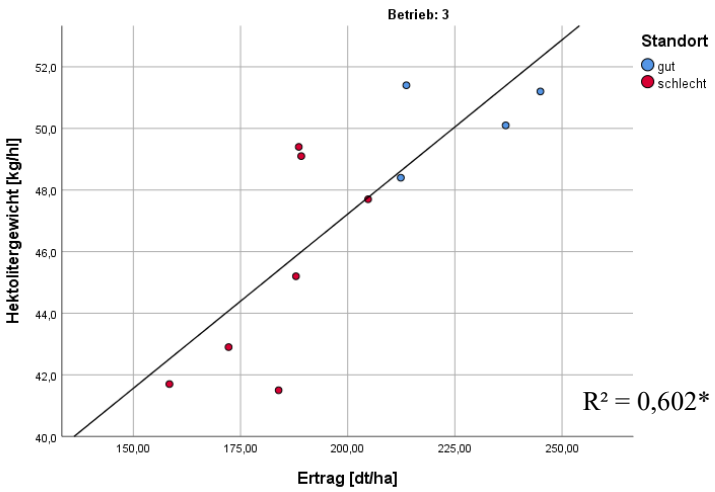


*Abbildung 56: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und dea HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 3 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Der Spelzgehalt war auf allen Betrieben, mit Ausnahme von Betrieb 7, negativ mit dem Ertrag korreliert. Auf den Betrieben 4, 5, 6 und 7 war der Zusammenhang jedoch nicht signifikant und sehr gering. Auf Betrieb 3 war der Zusammenhang am stärksten. 54,7 % der Varianz des Spelzanteils ließen sich durch den Ertrag erklären.

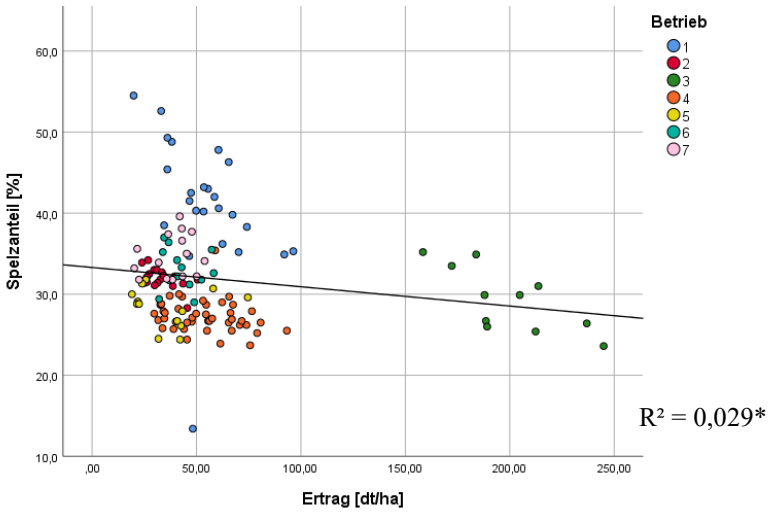


*Abbildung 57: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf sieben Betrieben im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

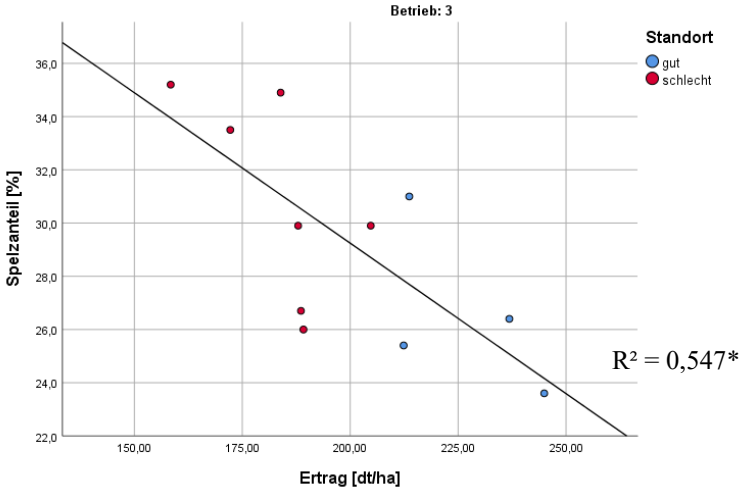


*Abbildung 58: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf Betrieb 3 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Auf Betrieb 4 beeinflusste die Rispendichte signifikant das HLG. 24,0 % der Varianz des HLG ließen sich durch die Rispendichte erklären.

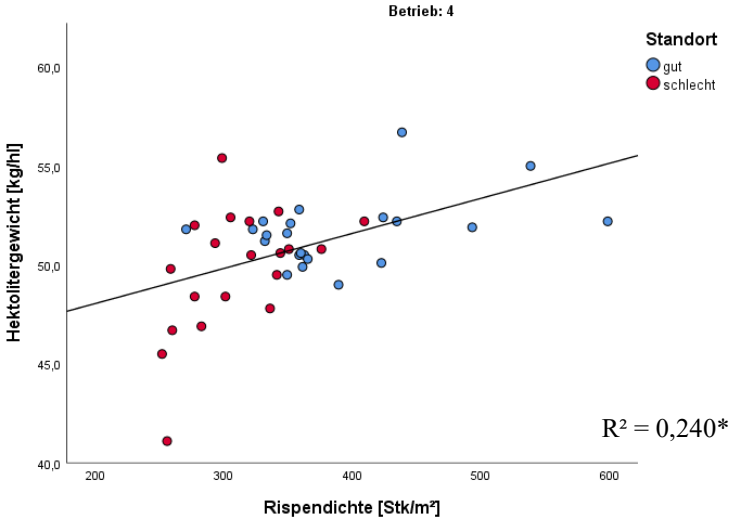


*Abbildung 59: Zusammenhang des HLG [kg/hl] und der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben auf Betrieb 4 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Einen signifikanten Zusammenhang zwischen HLG und Spelzanteil gab es auf den Betrieben 2 und 3. Dort wirkte sich ein steigendes HLG positiv auf eine Verringerung des Spelzanteils aus.

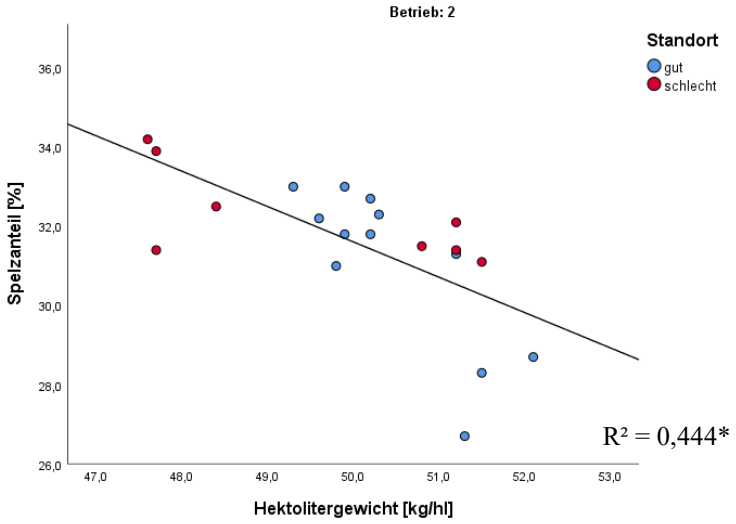


*Abbildung 60: Zusammenhang des HLG [kg/hl] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf Betrieb 2 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

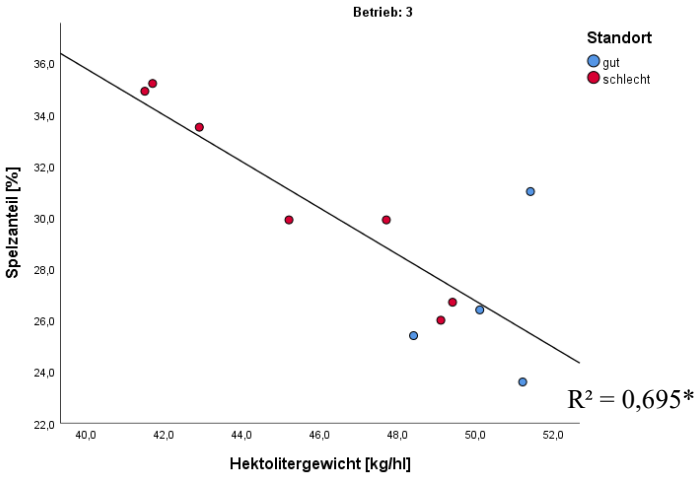


*Abbildung 61: Zusammenhang des HLG [kg/hl] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf Betrieb 3 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

4.4.2 Biochemische Qualitätseigenschaften

Der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS,}$, der β-Glucan-Gehalt$_{AAS,}$ und der Proteingehalt wurden ebenfalls auf mögliche signifikante Zusammenhänge mit dem Ertrag und den pflanzenbaulichen und physikalischen Eigenschaften (Bestandeshöhe, Rispendichte, TKG, Anteil Körner > 2,00 mm, HLG, Spelzanteil) untersucht. Dabei wurden die Betriebe 3 und 6 auf denen β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ bestimmt wurde und die Betriebe 1 und 7 auf denen β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und der Proteingehalt bestimmt wurden, jeweils getrennt voneinander betrachtet.

Auf Betrieb 3 ließ sich zwischen β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$, dem Ertrag und den pflanzenbaulichen/physikalischen Eigenschaften kein signifikanter Zusammenhang feststellen.

Auf Betrieb 6 hingegen korrelierte der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ negativ und signifikant mit dem Ertrag, dem TKG und dem Anteil an Körnern > 2,00 mm.

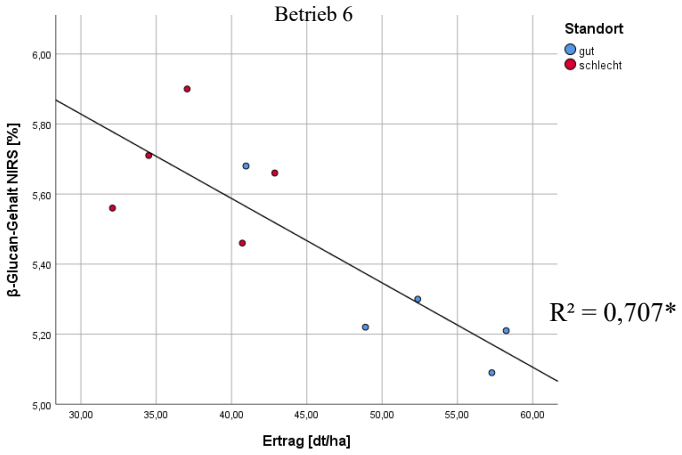


*Abbildung 62: Zusammenhang des β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ [%] und des Ertrags [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 6 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

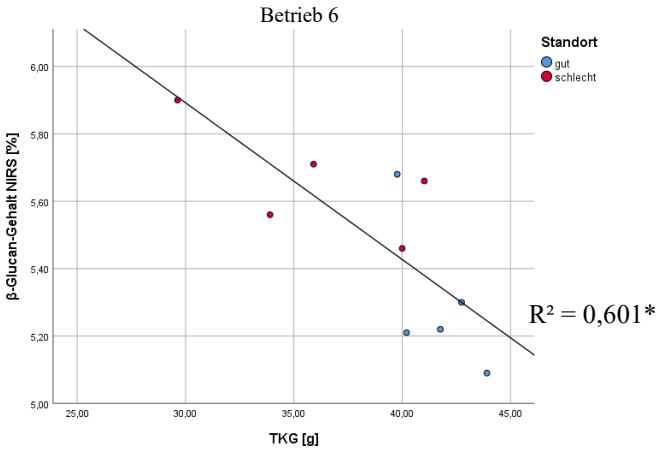


*Abbildung 63: Zusammenhang des β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ [%] und des TKG [%] von Haferproben auf Betrieb 6 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

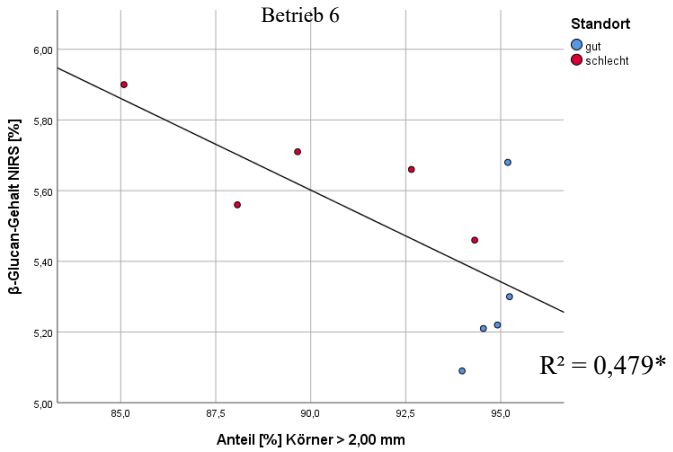


*Abbildung 64: Zusammenhang des β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ und des Anteils [%] der Körner > 2,00 mm von Haferproben auf Betrieb 6 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Auf Betrieb 7 ließ sich zwischen β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$, dem Ertrag und den pflanzenbaulichen/physikalischen Eigenschaften kein signifikanter Zusammenhang feststellen. Auf Betrieb 1 gab es jedoch eine positive und signifikante Korrelation zwischen β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und dem HLG, und eine negative und signifikante Korrelation zwischen β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und dem Spelzanteil (Abb. 65, 66)

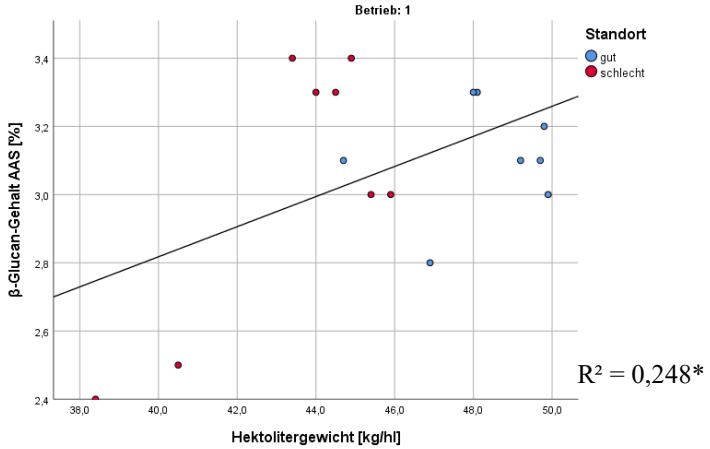


*Abbildung 65: Zusammenhang des β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ [%] und des HLG [kg/hl] von Haferproben auf Betrieb 1 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

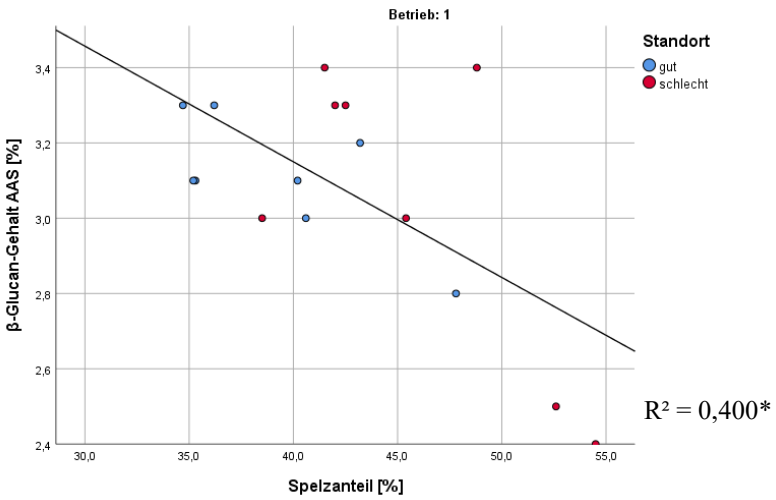


*Abbildung 66: Zusammenhang des β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ [%] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf Betrieb 1 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Der Proteingehalt korrelierte auf Betrieb 1 positiv mit dem Ertrag und negativ mit dem Spelzanteil.

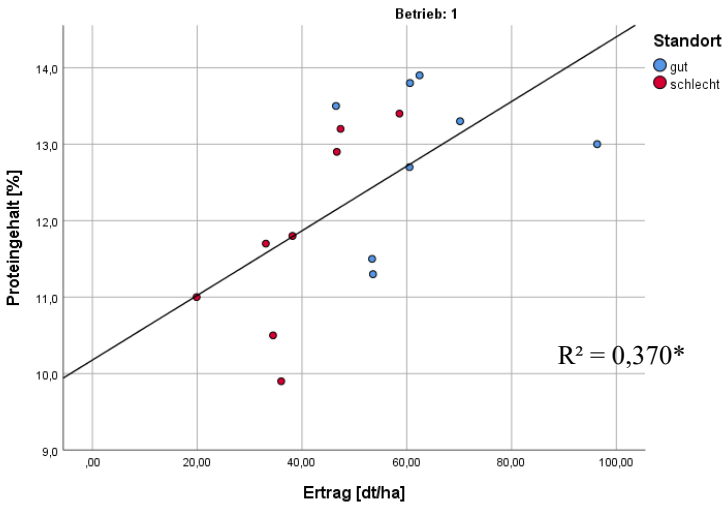


*Abbildung 67: Zusammenhang des Proteingehalts [%] und des Ertrags [dt/ha] von Haferproben auf Betrieb 1 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

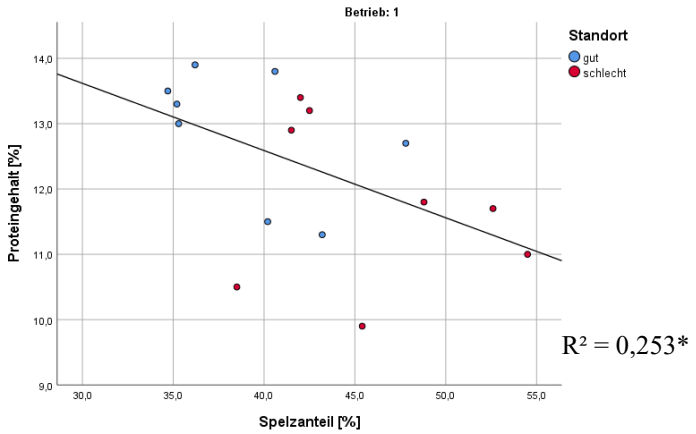


*Abbildung 68: Zusammenhang des Proteingehalts [%] und des Spelzanteils [%] von Haferproben auf Betrieb 1 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Des Weiteren konnte ein signifikanter und positiver Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und dem β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ festgestellt werden.

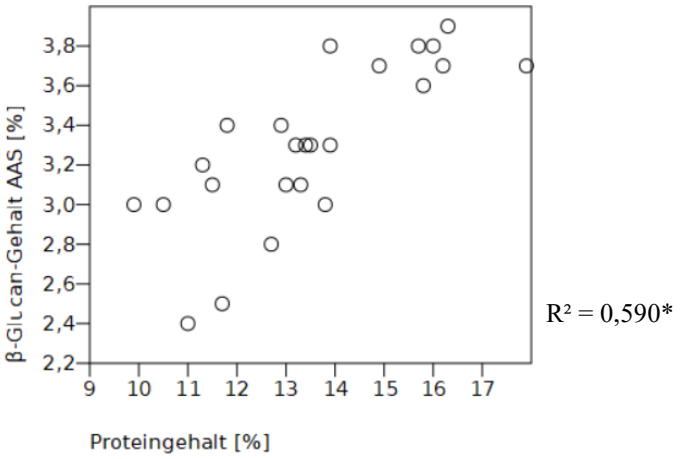


*Abbildung 69: Zusammenhang des Proteingehalts [%] und des β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ [%] von Haferproben auf Betrieb 1 und 7 im Erntejahr 2019, * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

4.4.3 Einfluss des NDVI auf den Ertrag

Folgend werden die Ergebnisse der NDVI Berechnungen dargestellt, die unabhängig von den NDVI Berechnungen der BGSE stattfanden. Eingangs werden beispielhaft Abbildungen von Betrieb 3 und Betrieb 1 gezeigt, die die Werte des NDVIs auf den jeweiligen Feldern und Feldausschnitten farblich widerspiegeln. Die Punkte, an denen Proben entnommen wurden, sind auf den Abbildungen markiert und beschriftet. Punkte, an denen die Standorte nach BGSE gut waren, wurden mit einem G, und Punkte, an denen die Standorte nach BGSE schlecht waren, mit einem S markiert.

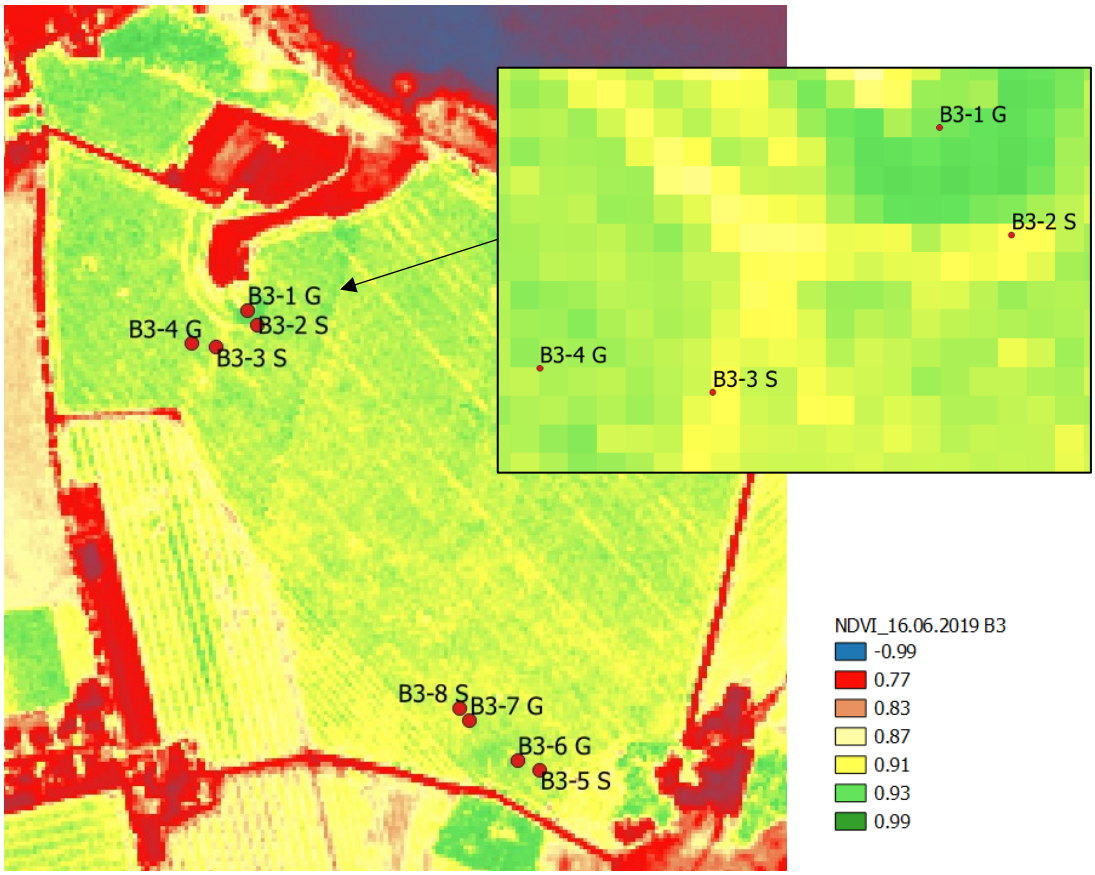


Abbildung 70: Darstellung der Punktverteilung und des Vegetationsindex zur Standortgüte-Einschätzung (NDVI) auf einem Feld von Betrieb 3. Der kleine Ausschnitt illustriert die kleinräumigen Unterschiede des NDVI (Satellitenbild vom 26.06.2019)

Die linke Seite der Abbildung zeigt den NDVI des gesamten Feldes (mitsamt Umgebung) von Betrieb 3. Der kleine Ausschnitt zeigt eine Vergrößerung des nördlichen Feldausschnitts, damit die NDVI Werte der einzelnen Punkte besser erkennbar sind. Es ist zu erkennen, dass die beiden Punkte, an denen die Standorte nach BGSE gut waren auch in der zweiten (von der BGSE unabhängigen) Berechnung des NDVIs, auf Standorten lagen an denen die Werte höher waren, als auf den beiden Punkten, an denen die Standorte nach BGSE schlecht waren. Gleiches ließ sich auf den vier südlich gelegenen Punkten erkennen (nicht vergrößert dargestellt).

.

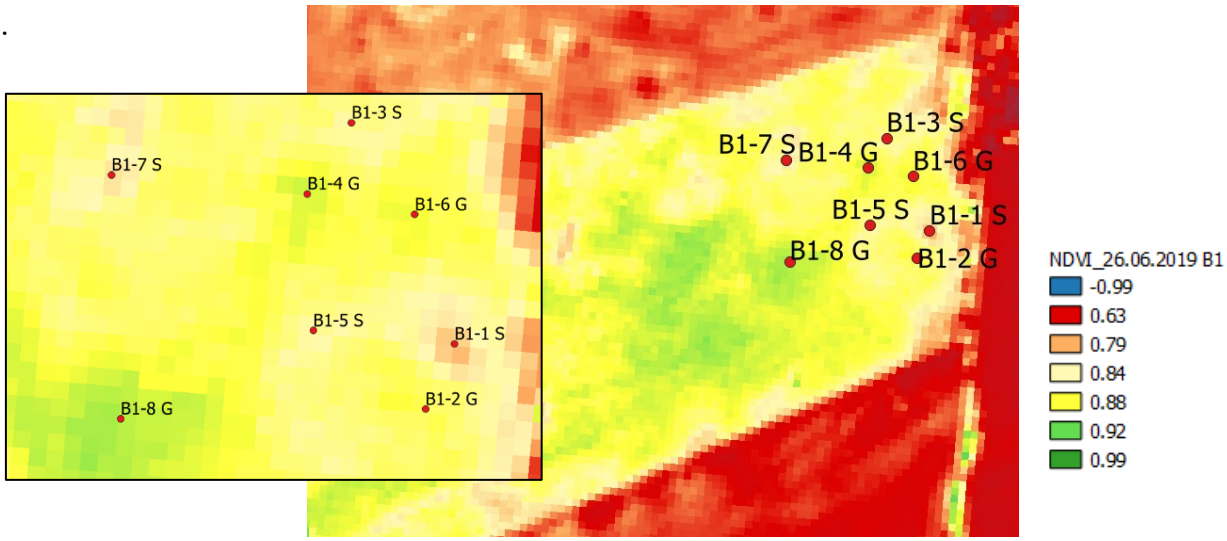


Abbildung 71: Darstellung der Punktverteilung und des Vegetationsindex zur Standortgüte-Einschätzung (NDVI) auf einem Feld von Betrieb 3. Der kleine Ausschnitt illustriert die kleinräumigen Unterschiede des NDVI (Satellitenbild vom 26.06.2019)

In der Vergrößerung der Punkte von Betrieb 1 ist auf den mit „G“ markierten Punkten ein höherer NDVI, als auf den mit einem „S“ markierten Punkten zu erkennen. Beim Vergleich des Feldes von Betrieb 3 (Abb. 70) mit dem Feld von Betrieb 1 (Abb. 71) fällt auf, dass auf Betrieb 3 insgesamt höhere NDVI Werte berechnet wurden als auf Betrieb 1. Dies spiegelte sich auch im Ertrag wider. Auf Betrieb 3 wurde ein signifikant höherer Ertrag gemessen als auf Betrieb 1 (s. Kapitel 4.1).

Inwiefern Ertrag und NDVI tatsächlich zusammenhingen, wird in Tabelle 26 dargestellt. Es ist jeweils das R^2 des Zusammenhangs zwischen Ertrag und NDVI für alle Betriebe gesamt und für jeden Betrieb einzeln angegeben.

Tabelle 26: Übersicht des statistischen Zusammenhangs des Ertrags [dt/ha] von Hafer und dem an Satellitenbildern vom Juni 2019 bestimmten NDVI auf sieben Betrieben

Analysierte Betriebe	R^2
Gesamt (B1-B7)	0,451*
Betrieb 1	0,548*
Betrieb 2	0,743*
Betrieb 3	0,529*
Betreib 4	0,883*
Betrieb 5	0,955*
Betrieb 6	0,819*
Betrieb 7	0,299 (T)

* signifikante Unterschiede bei einem Niveau von $\alpha = 0{,}05$

T = tendenzielle Unterschiede ($0{,}05 < p \leq 0{,}10$).

Auf jedem Betrieb, mit Ausnahme von Betrieb 7, war der Zusammenhang zwischen NDVI und Ertrag signifikant. Der höchste Zusammenhang ergab sich auf Betrieb 5, wo sich 95,5 % der Varianz des Ertrags durch den NDVI erklären ließen.

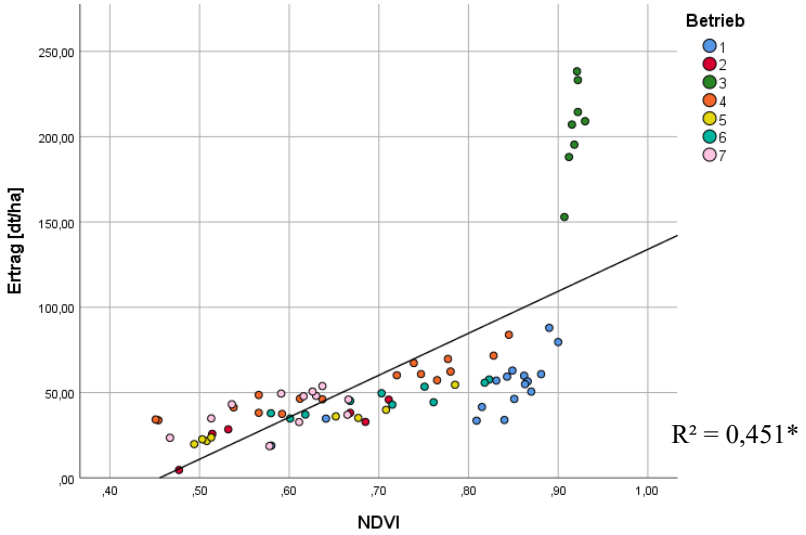


*Abbildung 72: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] von Haferproben und dem an Satellitenbildern vom Juni 2019 bestimmten NDVI auf sieben Betrieben; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

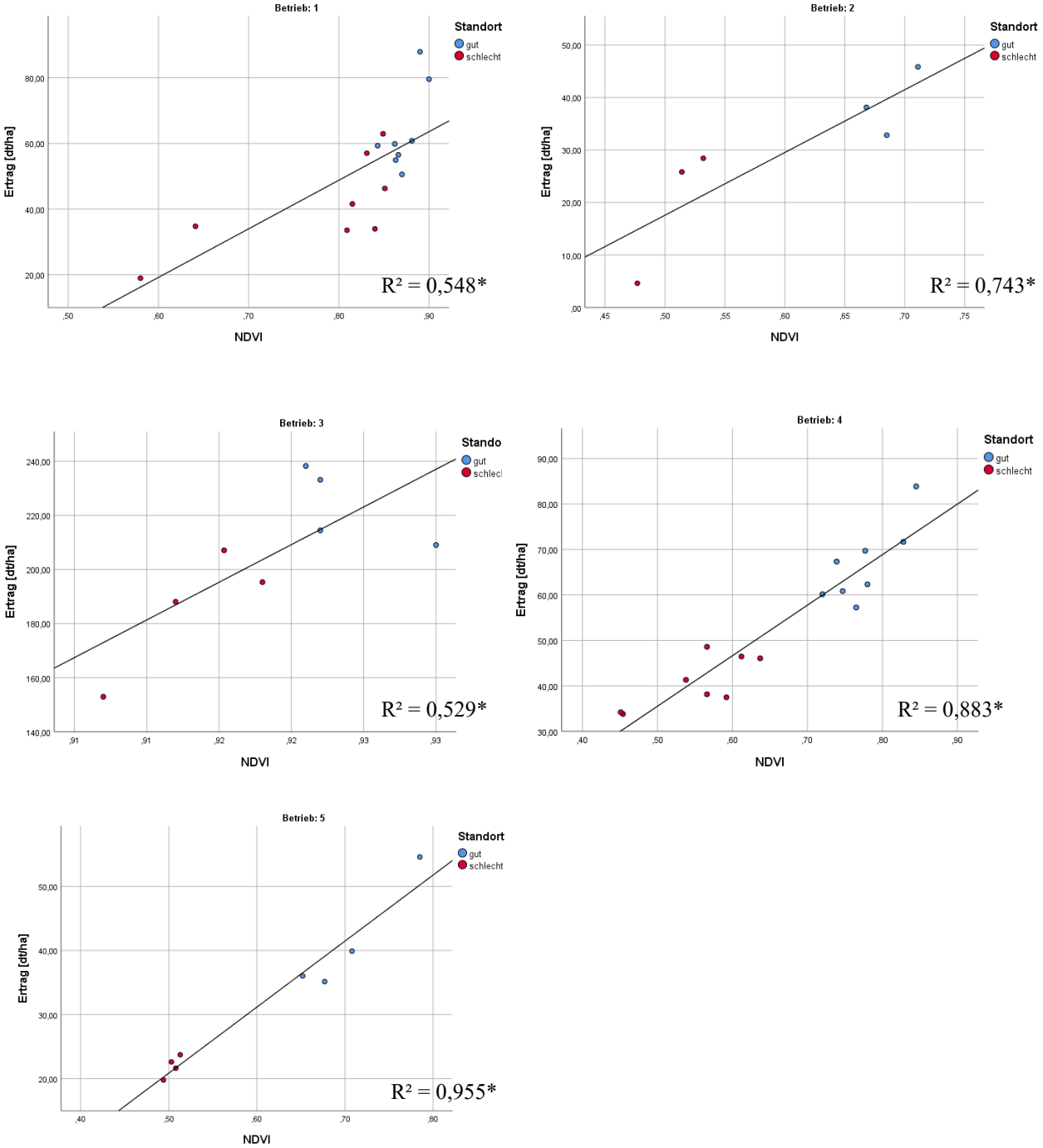


*Abbildung 73: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] von Haferproben und dem an Satellitenbildern vom Juni 2019 bestimmten NDVI auf den Betrieben 1 - 5; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

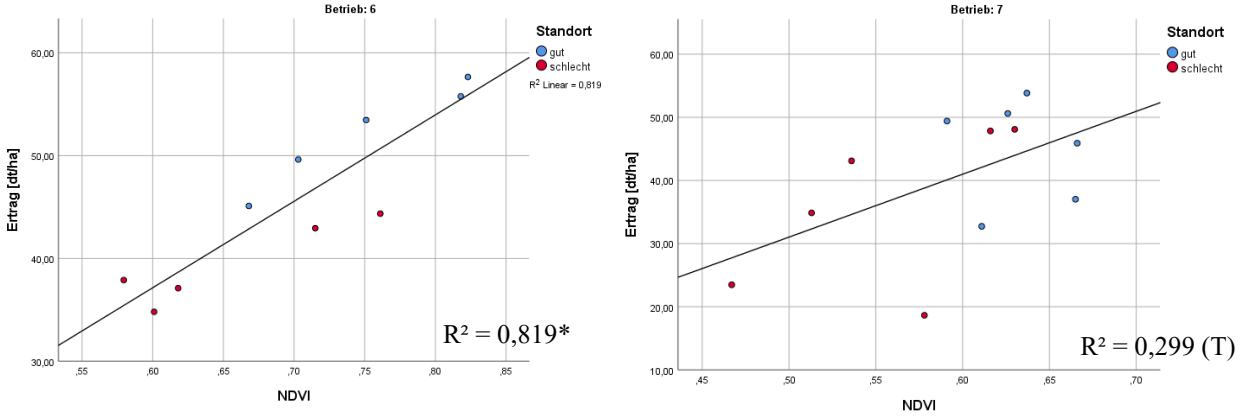


*Abbildung 74: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] von Hafer und dem an Satellitenbildern vom Juni 2019 bestimmten NDVI auf den Betrieben 6 und 7; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

4.4.4 Einfluss der Saatstärke

Die Saatstärke war nur von drei Betrieben bekannt. Auf Betrieb 1 lag sie bei 320, auf Betrieb 6 bei 300 und auf Betrieb 5 bei 280 Körnern/m². Die Saatstärke hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Bestandeshöhe oder die Rispendichte. Der Zusammenhang zwischen Saatstärke und Ertrag, TKG, Anteil K > 2, HLG und Spelzanteil war hingegen signifikant. Allerdings fiel der positive Zusammenhang zwischen Saatstärke und Ertrag mit einem R^2 von 0,212 gering aus. Der Zusammenhang zwischen Saatstärke und TKG war ebenfalls gering. Der Einfluss auf den Anteil K > 2, das HLG und den Spelzanteil war dahingegen bereits etwas größer (Abb. 75).

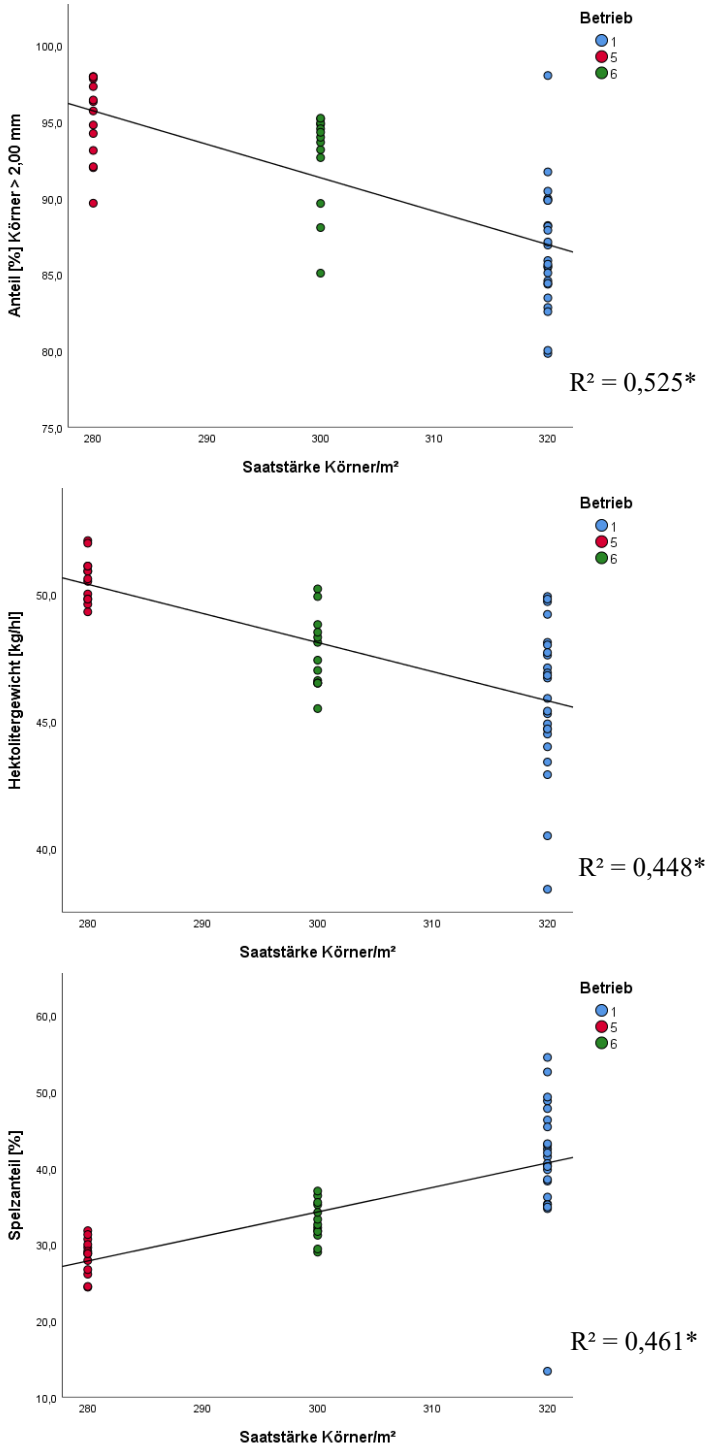


*Abbildung 75: Einfluss der Saatstärke auf den Anteil [%] der Körner > 2 mm, das HLG und den Spelzanteil von Haferproben auf den Betrieben 1, 5 und 6 im Erntejahr 2019; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

5 Diskussion

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse zusammengefasst, interpretiert und mithilfe von Literatur mit anderen Resultaten verglichen.

5.1 Einfluss der Faktoren „Betrieb“, „Betriebsform“ und „Sorte“

Der Faktor Betrieb hatte sowohl auf den Ertrag als auch auf die pflanzenbaulichen (Bestandeshöhe, Rispendichte) und physikalischen Eigenschaften (TKG, Anteil der Körner < 2,00 mm, HLG, Spelzanteil) einen signifikanten Einfluss. Der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und der Proteingehalt waren ebenfalls zwischen den Betrieben signifikant unterschiedlich. Lediglich beim β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ ließen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen.

Der Einfluss der Betriebsform auf die verschiedenen Eigenschaften war ebenfalls groß. Sowohl der Ertrag als auch alle pflanzenbaulichen und physikalischen Eigenschaften wurden, mit Ausnahme von der Bestandeshöhe und dem HLG, signifikant durch die Betriebsform beeinflusst. Die Eigenschaften fielen jeweils erhöht – bzw. der Spelzanteil geringer – auf den konventionellen Betrieben aus. Beim Ertrag und auch bei der Rispendichte ragte Betrieb 3 als Ausreißer-Betrieb mit extrem hohen Werten auf Seiten der konventionellen Betriebe heraus. Bei einer zweiten Analyse auf Signifikanz zwischen den Betriebsformen fielen die Unterschiede unter Ausschluss von Betrieb 3 für den Ertrag und die Rispendichte nicht mehr signifikant aus. Im Folgenden wird auf den Ertrag und die einzelnen Eigenschaften genauer eingegangen, um einen Vergleich zwischen den Betrieben und Betriebsformen zu ermöglichen, sowie eine Einordnung und Interpretation der Ergebnisse zu gewährleisten.

Vorab ist anzumerken, dass bei der Einordnung und Interpretation des innerhalb dieser Arbeit ermittelten durchschnittlichen Ertrags je Betrieb, bedacht werden sollte, dass dieser Ertrag nicht notwendigerweise dem durchschnittlichen Ertrag des ganzen Feldes entspricht. Ebenso war es auch nicht das Ziel diesen zu ermitteln. Es wurden extreme Standorte beprobt, welche nicht (notwendigerweise) den Durchschnitt eines Feldes repräsentieren. Dies zeigt auch ein Vergleich des innerhalb dieser Untersuchung ermittelten Ertrags je Betrieb und den von den Landwirten von Betrieb 2 und Betrieb 5 bereitgestellten Informationen zu den durchschnittlichen Erträgen je Feld. Auf Betrieb 2 lag der vom Landwirt mitgeteilte Ertrag mit 22,64 dt/ha unter dem innerhalb dieser

Untersuchung ermittelten Ertrag von 29,3 dt/ha und auf Betrieb 5 lag der vom Landwirt mitgeteilte Ertrag mit 34,63 dt/ha über dem innerhalb dieser Untersuchung ermittelten Ertrag von 31,7 dt/ha. Dennoch können die innerhalb dieser Arbeit ermittelten Durchschnittswerte einer ersten Orientierung und natürlich auch einem Vergleich zwischen den Betrieben dienen, da immer mit dem gleichen Schema der Probenentnahme vorgegangen worden ist. Gleiches gilt auch für die anderen Eigenschaften, die innerhalb dieser Arbeit untersucht wurden.

Ertrag

Beim Vergleich der durchschnittlichen Ertragswerte beider Standorte auf den Betrieben mit den Erträgen der Sortenversuche der LFA in den Jahren 2012 – 2019 fällt auf, dass die innerhalb dieser Untersuchung ermittelten Erträge eindeutig geringer ausfielen (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern 2020). Nur Betrieb 3 stellt eine Ausnahme mit einem extrem hohen Ertrag von 204,8 dt/ha dar. Auch das Statistische Bundesamt zeigt mit einem durchschnittlichen Haferertrag von 36,4 dt/ha in Mecklenburg-Vorpommern im Jahr 2019 einen im Vergleich mit den Sortenversuchen der LFA niedrigen Ertrag. 2019 zeigte sich somit als ein ertragsschwaches Jahr. Dazu beigetragen haben vor allem der warme und trockene Juni und die Hitzewelle, die sich im letzten Julidrittel ereignete (Deutscher Wetterdienst 2019a, 2019b). Bereits Ende Juni führten die heißen Temperaturen zu stärkeren und verfrühten Abreifungsprozessen. Die Kornfüllungsphase verkürzte sich und die Ertragsbildung wurde negativ beeinflusst (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern 2019). Die Ernte fand letztendlich verfrüht Ende Juli bzw. Anfang August statt. Betrieb 3, der auf der Insel Rügen lag, stach bei der Ertragsbestimmung besonders heraus. Im Paarvergleich wies er als einziger Betrieb einen signifikant höheren Ertrag gegenüber allen anderen Betrieben auf. Es wurden mit 204,8 dt/ha überdurchschnittlich hohe Erträge erzielt. Im Sortenversuch der LFA erreichte die Sorte Ivory – die ebenfalls auf Betrieb 3 angebaut wurde – gerade mal einen Ertrag von 65,0 dt/ha (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern 2020). Selbst im Bundesland Bayern, wo sonst vergleichsweise höhere Hafererträge als in Mecklenburg-Vorpommern erreicht werden, konnten keine derartig hohen Erträge erzielt werden. Bei der Sorte Ivory konnte im Durchschnitt von drei Versuchsstandorten im Jahr 2010 lediglich ein Ertrag von 64,5 dt/ha erzielt werden (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2010).

Eine mögliche Erklärung für die überdurchschnittlich hohen Erträge auf Betrieb 3 könnten die in der Literatur als äußerst positiv bezeichneten Bedingungen für den Anbau von Hafer in maritimen, feuchten und kühlen Gegenden sein (Meyer und Coenen 2002, Miedaner 2014). Auch im „Anbautelegramm Getreide“ der LFA wird beschrieben, dass die höchsten Hafererträge in Mecklenburg-Vorpommern in Küstengebieten mit hoher Luftfeuchtigkeit zu erwarten sind (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern 2017). Die klimatischen Bedingungen auf der Insel Rügen waren anscheinend besonders ertragsfördernd. Unterstützt wird diese Theorie durch die Betriebe 1 und 4, auf denen nach Betrieb 3, die höchsten Erträge erzielt wurden und die gleichzeitig der Ostseeküste im Vergleich mit den anderen Betrieben am nächsten lagen. Feld 1 von Betrieb 1 lag ungefähr einen Kilometer und Feld 2 nur Hundert Meter von der Ostseeküste entfernt. Bei Betrieb 4 waren es 13 – 20 Kilometer Entfernung bis zur Küste. Die restlichen Betriebe befanden sich über 35 Kilometer weit im Landesinneren.

Bei Besonderheiten in der Ertragsbestimmung ist neben Betrieb 3 vor allem Betrieb 2 zu nennen, welcher mit sehr niedrigen Erträgen auffiel. Im Durchschnitt beider Standorte konnte gerade mal ein Ertrag von 29,3 dt/ha erreicht werden. Dieser Wert liegt deutlich unter dem in den Sortenversuchen der LFA ermittelten Ertrag von 63,1 dt/ha der Sorte Max, die ebenfalls auf Betrieb 2 angebaut wurde (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern 2020). Beim Anbau von Getreide fallen die Erträge unter ökologischer Bewirtschaftung meistens geringer aus, als unter konventioneller Bewirtschaftung (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft o.J.). Da Betrieb 2 ökologisch bewirtschaftet wurde, könnte dies eine Begründung für die niedrigen Erträge sein. Im Widerspruch dazu stehen allerdings die vergleichsweisen hohen Erträge von dem ebenfalls ökologisch bewirtschafteten Betrieb 1, wo im Durchschnitt beider Standorte ein Ertrag von 52,4 dt/ha erreicht wurde. Im Vergleich mit den Erträgen der konventionell bewirtschafteten Betriebe 5, 6 und 7 schneidet Betrieb 1 sogar mit besseren Erträgen ab. Für alle Betriebe zusammen betrachtet lag der Ertrag auf den konventionellen Betrieben im Durchschnitt um 22,4 dt/ha höher als auf den ökologischen Betrieben. Dieser Unterschied war signifikant. Wird allerdings der Ausreißer-Betrieb 3 aus der Betrachtung ausgeschlossen, fällt der Mittelwert der Erträge der konventionellen Betriebe sogar unter den der ökologischen Betriebe. Die Differenz lag bei 1,4 dt/ha. Dies könnte ein bedeutsamer Hinweis darauf sein, dass gerade beim

Anbau von Hafer Betriebe mit einer ökologischen Bewirtschaftungsform nicht unbedingt ertragsschwächer sein müssen als konventionelle Betriebe. Ähnliches zeigten mehrjährige Versuche (2003-2015) der österreichischen Bundesanstalt für Landwirtschaft, in denen der Ertrag von verschiedenen Getreidearten auf drei Standorten (feucht, gelegentlich trocken und trocken) in ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung miteinander verglichen wurden. Zwar fiel der Ertrag der ökologisch bewirtschafteten Getreidearten jeweils geringer aus, jedoch war die Differenz bei Hafer geringer als zum Bespiel bei Weizen. Auf den trockenen Standorten war die Differenz sogar die geringste im Vergleich mit allen anderen getesteten Getreidesorten, wozu auch Sommergerste, Roggen und Triticale gehörten. Deshalb ist zu vermuten, dass gerade in einem relativ niederschlagsarmen Bundesland wie Mecklenburg-Vorpommern, die Differenz der Hafererträge zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung gering ausfallen werden. Auf Betrieb 2 haben sich für ökologisch angebautes Getreide typisch niedrige Erträge bestätigt, auf Betrieb 1 hingegen ließ sich dies im Vergleich mit den anderen Betrieben nicht erkennen. Dementsprechend muss es auf Betrieb 2 neben der ökologischen Bewirtschaftung noch andere Gründe für die niedrigen Erträge gegeben haben. In Erinnerung geblieben ist vor allem das hohe Unkrautaufkommen auf Betrieb 2, welches bei der Punktbeerntung aufgefallen war. Die Unkrautproblematik ist wahrscheinlich ein weiterer Faktor, der die Ertragsbildung negativ beeinflusst hat. Auf Betrieb 2 zeichnete sich außerdem Punkt 3 als extrem ertragsschwach ab. Dort wurde ein Ertrag von gerade mal 4,6 dt/ha festgestellt. Dieser Punkt befand sich im Vorgewende, wo die Erträge im Allgemeinen niedriger gewesen sein könnten. Mögliche Gründe dafür sind vor allem die Bodenverdichtung, die bereits die Herbstfurche erschwerten, wie vom Landwirt mitgeteilt wurde (Anonym 2019).

Der Sorteneffekt auf den Ertrag war zwar signifikant, jedoch könnten dafür auch die unterschiedlichen Anbauorte (Faktor Betrieb) verantwortlich sein. Die Spannweite war für die Sorte Ivory, die auf den Betrieben 3 und 6 angebaut wurde, am höchsten. Da diese beiden Betriebe im Ertrag signifikant unterschiedlich waren, wird an dieser Stelle deutlich, dass der Faktor Betrieb und nicht der Faktor Sorte für signifikante Unterschiede sorgte. Unter Ausschluss von Betrieb 3 war der Sorteneffekt nicht mehr signifikant, sondern nur noch in der Tendenz erkennbar. Weitere Untersuchungen in Hinblick auf Wechselwirkungen zwischen Anbauort (Betrieb) und Sorte sind zu empfehlen.

Bestandeshöhe und Rispendichte

Der Faktor Betrieb hatte einen signifikanten Einfluss auf die Bestandeshöhe. Wie beim Ertrag schnitt auch hier Betrieb 3, im Vergleich mit den anderen Betrieben, mit den höchsten Werten ab. Auf Betrieb 3 wurde eine Bestandeshöhe von 92 cm im Durchschnitt beider Standorte ermittelt. Der Unterschied war im Paarvergleich mit den anderen Betrieben allerdings nicht signifikant. Auf Betrieb 1 wurde die zweitgrößte Bestandeshöhe mit 90 cm und auf Betrieb 2 mit 65 cm die niedrigste Bestandeshöhe gemessen. Auch hier klaffen die beiden ökologischen Betriebe (1 und 2) – ähnlich wie beim Ertrag – weit auseinander. Pfeiffer erkannte einen positiven Effekt der Bestandeshöhe bei Hafer auf die Beikrautregulierung und betonte deren Wichtigkeit vor allem im ökologischen Landbau (Pfeiffer 2017). Eine optische Einschätzung während der Punktbeerntung ließ auf Betrieb 2 sehr viel und auf Betrieb 4 eindeutig weniger Unkraut erkennen. Eine Erklärung könnte demnach sein, dass auf Betrieb 4 Unkräuter durch die hohe Bestandeshöhe besser unterdrückt wurden als auf Betrieb 2, und so auch das Ertragspotenzial auf Betrieb 4 besser ausgeschöpft werden konnte. Sowohl Pfeiffer als auch Ziegler ermittelten Bestandeshöhen von ca. 90 cm an Haferpflanzen (Ziegler 2013, Pfeiffer 2017). Die innerhalb dieser Arbeit ermittelten Bestandeshöhen auf Betrieb 1 und 3 können im Vergleich damit als durchschnittlich eingestuft werden. Auf den anderen Betrieben war die Bestandeshöhe mit einem Bereich von 65 – 81 cm hingegen unterdurchschnittlich niedrig. Dies könnte ähnlich wie beim Ertrag an den trockenen und heißen Witterungsbedingungen in der Vegetationsphase gelegen haben. Zwischen den Betriebsformen konventionell und ökologisch konnten keine signifikanten Unterschiede in der Bestandeshöhe festgestellt werden.

Der Faktor Betrieb hatte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Rispendichte. Betrieb 3 war der auffälligste Betrieb, da er der einzige war, der im Paarvergleich mit allen anderen Betrieben eine signifikant höhere Rispendichte aufwies. Das österreichische Bundesamt für Ernährungssicherheit (2015) gibt an, dass die Rispendichte eines Pflanzenbestandes je nach Standorteigenschaften, Kompensationsfähigkeit der Pflanzenart und der Sorte variiert. Dies könnten die wichtigsten Faktoren auf den Betrieben gewesen sein, die zu signifikanten Unterschieden in der Rispendichte führten. Auf Betrieb 3 wurden insgesamt 1087 Rispen pro Quadratmeter gezählt. Beuch et al. 2016 geben als Zielbereich 350 – 500 Rispen pro Quadratmeter an. Demnach könnte die Rispendichte auf Betrieb 3

sogar so hoch gewesen sein, dass andere Bestandesparameter negativ beeinflusst wurden. Der überdurchschnittlich hohe Ertrag auf Betrieb 3 scheint jedoch nicht unter der hohen Rispendichte gelitten zu haben. Beuch et al. beschreiben außerdem eine negative Beeinflussung des HLG durch einen zu dichten Bestand. Da das HLG von Betrieb 3 an fünfter Stelle hinter dem der Betriebe 4, 5, 2 und 6 lag, könnte es eine negative Beeinflussung des HLG auf Betrieb 3 gegeben haben. Allerdings ließ sich kein linearer Zusammenhang zwischen HLG und Rispendichte erkennen. Auf Betrieb 5 wurde mit 286 Rispen/m² die geringste Rispendichte ermittelt. Diese Rispendichte erscheint sehr niedrig und birgt die Gefahr, dass die Pflanzen es nicht schaffen den durch die geringe Rispendichte verursachten Ertragsausfall durch eine stärkere Ausbildung anderer Bestandesparameter zu kompensieren (Bundesamt für Ernährungssicherheit 2015).

Physikalische Eigenschaften

Das TKG war zwischen den Betrieben signifikant unterschiedlich. Auf Betrieb 6 wurde mit 39,4 g das höchste und auf Betrieb 2 mit 29,2 g das niedrigsten TKG gemessen. In den Landessortenversuchen der LfL wurde im Jahr 2017 ein TKG im Bereich von 30,9 – 38,0 g an neun verschiedenen Hafersorten ermittelt. Im Vergleich mit diesen Werten aus der Literatur kann das TKG auf Betrieb 6 als überdurchschnittlich hoch und das TKG auf Betrieb 2 als überdurchschnittlich niedrig eingestuft werden. Die Anforderungen an das TKG für die Lebensmittelherstellung variieren je nach Abnehmer. Als Untergrenze werden teilweise 27 g oder auch 30 g angegeben (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016, Hauptgenossenschaft Nord AG 2019). Bei einer Untergrenze von 30 g hätte lediglich Betrieb 2 diese Anforderungen nicht erfüllt. Zwar ist das TKG zum Großteil eine sortentypische Größe, dennoch haben die Wasser- und Nährstoffversorgung, die Witterung, die Bestandesdichte, die Lagerung und der Krankheitsbefall einen bedeutsamen Einfluss auf das TKG (Bundesamt für Ernährungssicherheit 2015). Es könnte sein, dass die genannten Faktoren je nach Betrieb unterschiedlich waren und so für die Variation im TKG gesorgt haben.

Auch das HLG war zwischen den Betrieben signifikant unterschiedlich. Betrieb 3 fiel an dieser Stelle nicht als Ausreißer-Betrieb auf, sondern lag im Vergleich mit den anderen Betrieben an fünfter Stelle. Das höchste HLG wurde auf Betrieb 4 mit 50,7 kg/hl und das niedrigste HLG auf Betrieb 7 mit 44,2 kg/hl gemessen. Ein Hektolitergewicht von < 54 kg/hl ist als niedrig einzustufen und Hafer mit einem niedrigerem HLG wird laut Aussagen von Mitarbeitern der Firma Peter Kölln nicht für die Herstellung von

Haferflocken angenommen (Anonym 2020a). Kein Betrieb konnte die Anforderungen der Industrie in Bezug auf das HLG erfüllen. Es wurde bereits von dem Problem berichtet, dass in Deutschland nicht in allen Regionen die Anforderungen von Qualitätshafer erreicht werden können (Hanus et al. 2008, S. 434). Dieses Problem scheint in Bezug auf das HLG zum Tragen gekommen zu sein. Auch hier könnten mögliche Gründe für die niedrigen Werte die trockene und heiße Witterung im Juni und Juli 2019 sowie die damit verkürzte Kornfüllungsphase sein. Zwischen den Betriebsformen war das HLG nicht signifikant unterschiedlich.

Bei der Korngrößenverteilung wurde vor allem auf den Anteil an Körnern > 2,00 mm geachtet. Der Einfluss des Faktors Betrieb auf den Anteil an K > 2 war signifikant. Die Industrie setzt einen Mindestanteil an Körnern > 2 mm von 90 % voraus (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016). Innerhalb dieser Untersuchung erreichte nur Betrieb 1 mit einem Anteil von 87 % dieses Ziel nicht. Auf Betrieb 4 wurde der größte Anteil mit 97 % gemessen.

Der Spelzanteil sollte bei Speisehafer unter 26 % liegen (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2016). Auf Betrieb 1 wurde der höchste Spelzanteil mit 41,0 % und auf Betrieb 4 mit 27,3 % der niedrigste Spelzgehalt gemessen. Die Anforderungen der Industrie konnten demnach auf keinem Betrieb erfüllt werden. Die Unterschiede zwischen den Betrieben waren signifikant. Doehlert et. al kamen in einer Studie zu dem ähnlichen Ergebnis, dass der Kornanteil (ohne Spelze) je nach Anbauort signifikant unterschiedlich war (Doehlert et al. 2001). Da die innerhalb dieser Arbeit untersuchten Betriebe an unterschiedlichen Orten lagen, kann auch in diesem Fall von „Anbauorten“ gesprochen werden. Doehlert el al. machten für die signifikanten Unterschiede zwischen den Anbauorten vor allem die unterschiedlich starke Ausbreitung von Haferkronenrost (*Puccinia coronata corda*) verantwortlich. Der Kornanteil war auf stark befallenen Regionen am niedrigsten. Inwiefern innerhalb dieser Untersuchung Haferkronenrost oder ein anderer Krankheitsbefall für Unterschiede im Spelzanteil gesorgt haben könnte, ist jedoch unklar.

Biochemische Qualitätseigenschaften

Der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ lag auf Betrieb 3 bei 5,57 % und auf Betrieb 6 bei 5,48%. Die Unterschiede waren nicht signifikant. Redalli et al. 2013 ermittelten einen β-Glucan-Gehalt im Bereich von 2,85 – 6,77 % in der Trockenmasse von gemahlenen

und entspelzten Haferkörnern. Die innerhalb dieser Untersuchung ermittelten Werte des β-Glucan-Gehalts$_{NIRS}$ liegen in diesem Bereich und sind als normal bis leicht erhöht einzuschätzen. Der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ fiel im Vergleich etwas niedriger aus. Auf Betrieb 1 wurde ein Gehalt von 3,08 % und auf Betrieb 7 ein Gehalt von 3,75 % bestimmt. Die Unterschiede zwischen Betrieb 1 und Betrieb 7 waren signifikant. Mehrere Studien kamen ebenfalls zu einem signifikant unterschiedlichen β-Glucan-Gehalt je nach Anbauort oder Sorte (Peterson 1991, Doehlert et al. 2001). Da die Betriebe 1 und 7 sich sowohl im Anbauort, als auch in der Sorte (Max/Poseidon) unterschieden, könnten beides Faktoren sein, die zu signifikanten Unterschieden im β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ geführt haben. Zusätzlich könnte es zu Wechselwirkungen zwischen Sorte und Anbauort gekommen sein, wie auch Doehlert et al. 2001 in einer Studie herausfanden. Sie erklärten die Wechselwirkung zwischen Sorte und Anbauort auf den β-Glucan-Gehalt vor allem durch die unterschiedlich stark ausgeprägte Resistenz der Sorten gegenüber dem Haferkronenrost. Wie bereits erwähnt ist jedoch über den Krankheitsbefall auf den Haferfeldern nichts bekannt. Neben Sorte und Anbauort könnte auch die Betriebsform einen bedeutsamen Effekt auf den β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ gehabt haben. Betrieb 1 wurde ökologisch und Betrieb 7 hingegen konventionell bewirtschaftet. In der Literatur konnten keine Studien gefunden werden, die einen Effekt der Bewirtschaftungsform auf den β-Glucan-Gehalt untersucht haben. Der signifikante Unterschied zwischen ökologischer und konventioneller Betriebsform könnte entweder zufällig gewesen sein oder sollte dem Einfluss der Sorte und dem Anbauort zugeschrieben werden. Weitere Untersuchungen im Hinblick auf Wechselwirkungen zwischen Betriebsform, Anbauort und Sorte sind empfehlenswert.

Des Weiteren hatte der Faktor Betrieb einen signifikanten Einfluss auf den Proteingehalt. Auf Betrieb 1 wurde ein Gehalt von 12,3 % und auf Betrieb 7 ein Gehalt von 15,8 % gemessen. Wie beim β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ könnten die Gründe dafür die unterschiedlichen Umweltbedingungen an den Anbauorten, die Sorte oder die Betriebsform sein.

Zusammengefasst war der Einfluss der Faktoren Betrieb und Betriebsform auf den Ertrag und die meisten anderen Eigenschaften sehr groß. Die Ursachen für diese Unterschiede könnten zum Teil menschlich- oder auch umweltbedingt sein. Der Mensch kann den Ertrag, einige Bestandesparameter und Eigenschaften des Hafers durch verschiedene Anbaumaßnahmen, wie zum Beispiel durch Düngeregulierung, Anpassung der Saatstärke, Sortenwahl und der Bewirtschaftungsform, ein Stück weit beeinflussen.

Umweltbedingte Ursachen wie die Witterung, Bodeneigenschaften, Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit sowie Krankheitsbefall sind nicht bis wenig regulierbar und stellen weitere mögliche Faktoren dar, die zur Variation der Eigenschaften zwischen den Betrieben und Betriebsformen geführt haben könnten.

5.2 Einfluss der BGSE-Standortgüte

Durch die vom Experten durchgeführte BGSE wurden auf den Feldern der Betriebe „gute“ und „schlechte“ Standorte für die Punktbeerntung ausgewählt. Alle pflanzenbaulichen und physikalischen Eigenschaften wurden auf signifikante Unterschiede zwischen den Standorten untersucht. Dabei wurde die Varianzanalyse jeweils unter Einbeziehung jedes einzelnen Betriebes und für die einzelnen Felder auf den Betrieben 1, 4, 6 und 7 durchgeführt, da dort zwei Feldern beprobt wurden. Der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$, der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und der Proteingehalt wurden ebenfalls auf signifikante Unterschiede zwischen den Standorten untersucht.

Der Einfluss der BGSE-Standortgüte machte sich beim Ertrag am stärksten bemerkbar: Auf jedem Betrieb und auch nach den einzelnen Feldern der Betriebe 1, 4 und 6 unterteilt, war der Ertrag auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten. Die größte Ertragsdifferenz zwischen guten und schlechten Standorten ergab sich auf Betrieb 3 in Höhe von 37,9 dt/ha. Somit wies zwar Betrieb 3 den höchsten Ertrag, aber gleichzeitig auch die größten Ertragsdifferenzen zwischen den Standorten auf. Feld 1 von Betrieb 7 war das einzige Feld, auf dem die Ertragsunterschiede zwischen den Standorten nicht signifikant waren. Insgesamt war also auf zehn von elf Feldern der Ertrag auf den guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten. Die durchschnittliche Ertragsdifferenz dieser zehn Felder zwischen den Standorten liegt bei 21,7 dt/ha. Die Methode der BGSE konnte auf zehn von elf Feldern feldinterne und signifikante Variationen im Ertrag erschließen. Die vom Experten als gut und schlecht eingeschätzten Standorte haben sich tatsächlich als gute (ertragsstarke) und schlechte (ertragsschwache) Standorte herausgestellt. Eine Ertragsdifferenz von 21,7 dt/ha ist von großer Bedeutung und sollte vor allem bei der Bewirtschaftung Beachtung finden. Eine Möglichkeit wäre es, die Düngung an die ertragsschwachen Standorte anzupassen. Ob allerdings eine Erhöhung oder Herabsetzung der Düngung auf diesen Standorten zu empfehlen ist, muss individuell und kontextbezogen entschieden werden. Einerseits könnten die Erträge der ertragsschwachen Standorte durch eine erhöhte Düngung

verbessert werden. Andererseits kann es aber auch sein, dass eine Verbesserung des Ertrags auf diesen Standorten gar nicht möglich ist. Dann könnte die Düngung ggf. heruntergeschraubt werden, um dem Problem einer Überdüngung und N-Auswaschung in das Grundwasser entgegenzuwirken. So können neben ökologischen auch ökonomische Vorteile für den Landwirt entstehen, die sich aus der Einsparung von Düngemitteln ergeben.

Die BGSE war aber nicht nur bei der Identifikation von ertragsschwachen bzw. ertragsstarken Standorten von Bedeutung, sondern hatte auch einen erheblichen Einfluss auf die Bestandeshöhe. Diese war - wie der Ertrag - auf allen elf Feldern auf den nach BGSE guten Standorten höher als auf den schlechten Standorten. Von elf Feldern war dieser Unterschied auf acht Feldern signifikant. Im Durchschnitt aller Betriebe lag die Differenz der Bestandeshöhe zwischen den Standorten bei 20,7 cm. Auf Feld 2 von Betrieb 4 war die Differenz mit 36 cm am größten. Mithilfe der BGSE konnten extreme Standorte auf den Haferfeldern identifiziert werden, auf denen die Bestandeshöhe entweder besonders hoch, oder besonders niedrig war. Ob ein solcher Standort nun als schlecht oder als gut bezeichnet werden kann, sollte kontextbezogen vom Landwirt bewertet werden. Innerhalb dieser Untersuchung korrelierte die Bestandeshöhe positiv mit dem Ertrag. Dementsprechend kann in diesem Fall ein Standort mit niedriger Bestandeshöhe als ertragsschwach (schlecht), und ein Standort mit hoher Bestandeshöhe als ertragsstark (gut) bezeichnet werden. Dies muss allerdings nicht immer der Fall sein, da eine zu hohe Bestandeshöhe zu Lager führen und somit auch mit Ertragseinbußen einhergehen kann. Folglich sollte eher ein Optimalbereich der Bestandeshöhe und nicht per se hohe Werte angestrebt werden.

In Bezug auf die Rispendichte war der Einfluss der BGSE-Standortgüte nicht ganz so eindeutig wie beim Ertrag oder der Bestandeshöhe. Dennoch lässt sich im Allgemeinen sagen, dass die Rispendichte in den meisten Fällen auf den guten Standorten höher war, als auf den schlechten. Auf Betrieb 3 und 4 und auf einem Feld von Betrieb 1 waren diese Unterschiede zudem signifikant. Die Differenz der Rispendichte zwischen den Standorten war mit 106 Stk/m² auf Feld 2 von Betrieb 4 am größten. Auf Betrieb 2 ließen sich ebenfalls signifikante Unterschiede in der Rispendichte feststellen, allerdings mit umgekehrter Richtung. Die Rispendichte war auf den schlechten Standorten um 45 Stk/m² höher als auf den guten Standorten. Auf den Betrieben 5 und 7 war die Rispendichte ebenfalls auf den schlechten Standorten höher, jedoch waren die

Unterschiede nicht signifikant. Eine mögliche Ursache für die höhere Rispendichte auf den schlechten Standorten könnte sein, dass es auf den guten Standorten häufiger zu Konkurrenz zwischen den Haferpflanzen kam und so letztendlich weniger Rispen ausgebildet werden konnten als auf den schlechten Standorten.

Der Einfluss der BGSE auf das TKG fiel dahingegen etwas deutlicher aus als bei der Rispendichte. Auf allen Feldern, mit Ausnahme von Feld 2 auf Betrieb 1 und Feld 1 auf Betrieb 7, war das TKG auf den nach BGSE guten Standorten signifikant höher als auf den schlechten Standorten. Am größten war die Differenz zwischen den Standorten auf Betrieb 2 mit 7,7 g und Betrieb 3 mit 5 g. Das TKG variierte stark auf diesen Feldern und auch Ergebnisse aus der Literatur bestätigen, dass das TKG innerhalb eines Feldes sehr stark variieren kann (Bundesamt für Ernährungssicherheit 2015). Bei der Weiterverarbeitung von Hafer kann demnach mit heterogener Ware in Bezug auf das TKG gerechnet werden. Wie bereits beim Einfluss des Faktors Betrieb auf das TKG beschrieben wurde, könnten vor allem die Wasser- und Nährstoffversorgung, Witterung, zeitliche Dauer der Einkörnungsphase, inhomogene Böden, Bestandesdichte, Lagerung und Krankheitsbelastung für Variationen im TKG gesorgt haben (Bundesamt für Ernährungssicherheit 2015). Diese Ursachen können sowohl für großräumige Variationen im TKG zwischen den Betrieben, als auch für kleinräumige Variationen im TKG innerhalb eines Feldes verantwortlich sein. Neben den genannten Umweltbedingungen ist das TKG zudem zu einem gewissen Teil durch den Menschen beeinflussbar. Schuster et al. 2015 fanden heraus, dass sich das TKG von ökologischem Hafer durch Leguminosen-Gründüngung um 5,8 % anheben ließ (Schuster et al. 2015). Dies stellt ggf. eine Möglichkeit dar, das TKG mithilfe von Düngung auf schlechten Standorten zu erhöhen.

Der Anteil an Körnern > 2 mm fiel auf den Betrieben 2 – 7 auf den nach BGSE guten Standorten höher aus als auf den schlechten Standorten. Hierbei war der Unterschied auf den Betrieben 4, 5 und 6 signifikant. Die größte Differenz zwischen den Standorten ergab sich auf Betrieb 2 mit 7 %. Auf Betrieb 1 war der Anteil an Körnern > 2 mm auf den schlechten Standorten leicht erhöht. Da die Differenz jedoch bei unter einem Prozent lag, lässt sich auf Betrieb 1 keine eindeutige Variation zwischen den Standorten erkennen. Ähnlich sah es bei dem Einfluss der BGSE-Standortgüte auf das HLG aus. Nur auf einigen Betrieben konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Dazu gehörten die Betriebe 1, 3, 4 und 6. Nach Unterteilung der Betriebe in die einzelnen Felder ließen

sich teilweise nur noch Tendenzen erkennen. Dabei war das HLG auf den guten Standorten höher als auf den schlechten Standorten. Auf Betrieb 2 und 7 ließen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen. Feld 1 von Betrieb 7 war das einzige Feld, auf dem das HLG auf den schlechten Standorten höher war als auf den guten Standorten. Der Spelzanteil hingegen war auf allen Feldern, bis auf Feld 1 von Betrieb 7, auf den nach BGSE schlechten Standorten höher als auf den guten Standorten. Allerdings war der Unterschied im Spelzanteil nur auf Betrieb 5 signifikant und auf Betrieb 3 in der Tendenz gegeben. Auf den Betrieben 4 und 7 war der Unterschied des Spelzanteils zwischen den Standorten von unter einem Prozent minimal. Dort gab es kaum feldinterne Variationen im Spelzanteil. Zusammengefasst für den Anteil an Körnern > 2mm, das HLG und den Spelzanteil kann gesagt werden, dass es nicht auf allen Feldern zu bedeutsamen Variationen zwischen guten und schlechten Standorten gekommen ist.

An biochemischen Qualitätseigenschaften wurde der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ auf den Feldern der Betriebe 3 und 6 sowie der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und der Proteingehalt auf den Feldern der Betrieben 1 und 7 bestimmt. Der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ war auf allen Feldern auf den nach BGSE schlechten Standorten höher als auf den guten Standorten. Auf Betrieb 6 war dieser Unterschied signifikant. In die einzelnen Felder unterteilt ließ sich allerdings nur noch auf Feld 2 eine Tendenz erkennen. Hier war der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ auf den schlechten Standorten um 0,39 % höher als auf den guten Standorten. Für den β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ ließ sich Ähnliches auf Feld 1 von Betrieb 1 erkennen. Der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ war dort auf den schlechten Standorten in der Tendenz um 0,15 % höher als auf den guten Standorten. Auf Feld 2 von Betrieb 1 und auf beiden Feldern von Betrieb 7 fiel das Ergebnis jedoch umgekehrt aus und der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ war auf den guten Standorten leicht höher als auf den schlechten Standorten. Allerdings ließ sich weder eine Tendenz noch Signifikanz feststellen. Die Unterschiede zwischen den Standorten waren auf diesen Feldern nicht besonders hoch. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind ein erster Hinweis darauf, dass es zu feldinterner Variation im β-Glucan-Gehalt kommen kann. Die Gründe, die für diese Variation sorgten, sind zu Zeit nicht bekannt. Peterson berichteten von einem signifikant höheren β-Glucan-Gehalt auf einem unberegneten Feld im Vergleich zu einem beregneten Feld (Peterson 1991). Dementsprechend könnten die schlechten Standorte, auf denen der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ und der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ in der Tendenz höher

waren, trockenere Standorte innerhalb des Feldes gewesen sein. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs sind weitere Untersuchungen empfehlenswert.

Der Proteingehalt war auf Betrieb 1 auf den nach BGSE guten Standorten in der Tendenz um 1,08 % höher als auf den schlechten Standorten. Auf Betrieb 7 fiel das Ergebnis umgekehrt aus: Der Proteingehalt war in der Tendenz auf den schlechten Standorten um 1,43 % höher als auf den guten Standorten. Diese Ergebnisse sind zwar ein erster Hinweis darauf, dass es zu feldinterner Variation im Proteingehalt kommen kann, die Richtung konnte jedoch nicht geklärt werden.

Eignung der BGSE-Standortgüte

Zusammenfassend für Ertrag und alle Eigenschaften gemeinsam betrachtet, war der Einfluss der BGSE-Standortgüte auf den Ertrag am größten. Die Variation des Ertrags zwischen den Standorten war sehr hoch. Grundsätzlich eignet sich die BGSE-Standortgüte zum Identifizieren von ertragsstarken und ertragsschwachen Standorten innerhalb eines Feldes. Neben dem Ertrag ließen sich auch bei den anderen Eigenschaften signifikante Unterschiede zwischen den Standorten erkennen, aber nicht auf allen Feldern. Am häufigsten signifikant waren die Unterschiede in der Bestandeshöhe und dem TKG. Bei den restlichen Eigenschaften (HLG, Anteil K > 2, Spelzanteil, Rispendichte) konnte auf weniger als der Hälfte der Felder ein signifikanter Einfluss der BGSE-Standortgüte festgestellt werden. Auf Feldern, auf denen es keine signifikanten Unterschiede in den Eigenschaften gegeben hat, könnte dies bedeuten, dass es tatsächlich keine oder kaum eine Variation in diesen Eigenschaften gegeben hat. Ein anderer Grund könnte sein, dass die Methode der BGSE auf diesen Feldern nicht geeignet war, um unterschiedliche Standorte zu identifizieren. Auf Betrieb 7 spricht einiges dafür, dass dies so gewesen sein könnte. Betrieb 7 ist der einzige Betrieb, auf dem die BGSE nicht an aktuellen, sondern an älteren Luftbildern (über 2 Jahre) durchgeführt worden ist und auf dem die wenigsten signifikanten Unterschiede in den Eigenschaften gefunden worden sind. Dies scheint ein Hinweis darauf zu sein, dass die BGSE am besten an aktuellen Satelliten- und Luftbildern durchgeführt werden sollte, da sich „gute“ und „schlechte“ Standorte über die Zeit ändern.

Vorteile der BGSE sind vor allem der leichte und kostenlose Zugang zu Satellitenbildern über die Sci-Hub Plattform des Copernicus Programms und die schnelle Durchführbarkeit ohne die Felder betreten zu müssen. Dazu werden jedoch ein fundiertes pflanzenbauliches

Expertenwissen und auch Fähigkeiten im Umgang mit dem Programm QGIS benötigt. Nachteilig ist eine Bewölkung auf den Satellitenbildern, da sie die Bilder unbrauchbar macht. Probleme könnten sich auch bei der Auswahl des richtigen Zeitpunktes der Satellitenbilder ergeben, da dieser weder zu früh noch zu spät in der Vegetationsphase gesetzt werden sollte.

5.3 Zusammenhänge von Eigenschaften

Kenntnisse über die Zusammenhänge von Ertrag und Eigenschaften von Hafer sind von großer Bedeutung, damit nicht durch die Verbesserung einer Eigenschaft die Verschlechterung einer anderen Eigenschaft verursacht wird (Paccapelo et al. 2017). Innerhalb dieser Untersuchung wurden die Zusammenhänge der Eigenschaften mit dem Ertrag und teilweise auch untereinander auf Signifikanz überprüft. Zusätzlich wurde der Einfluss der Saatstärke auf die Eigenschaften und der Einfluss des NDVIs auf den Ertrag analysiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Regressionsanalysen diskutiert.

Pflanzenbauliche und physikalische Eigenschaften

Ein besonders großer Zusammenhang ergab sich zwischen Bestandeshöhe und Ertrag auf Betrieb 5. 96, 1 % der Varianz der Bestandeshöhe ließen sich durch den Ertrag erklären. Der Zusammenhang war positiv und signifikant. Auch auf den anderen Betrieben ließ sich ein positiver Zusammenhang zwischen Bestandeshöhe und Ertrag feststellen. Wie zuvor beschrieben muss dies in der Praxis nicht immer der Fall sein, da eine zu hohe Bestandeshöhe zu Lager und somit zu Ertragseinbußen führen könnte. Der Zusammenhang von Bestandeshöhe und Ertrag sollte demnach immer kontextbezogen auf den einzelnen Feldern betrachtet werden.

Die Rispendichte hatte ebenfalls bei dem Großteil der Betriebe einen positiven und signifikanten Einfluss auf den Ertrag. Am stärksten war der Zusammenhang auf Betrieb 4, wo sich 58,7 % der Varianz des Ertrags durch die Rispendichte erklären ließen. Demnach stellt eine Erhöhung der Rispendichte eine Möglichkeit dar, den Ertrag zu verbessern. In der Literatur wird beschrieben, dass die Rispendichte wiederum durch die Saatstärke erhöht werden kann (Farack et al. 2011). Innerhalb dieser Untersuchung konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen Rispendichte und Saatstärke festgestellt werden.

Die Rispendichte beeinflusste auf Betrieb 4 signifikant das HLG, wobei der Zusammenhang nicht besonders hoch ausfiel. 24,0 % der Varianz des HLG ließen sich durch die Rispendichte erklären. Wird die Rispendichte gleichgesetzt mit der Bestandesdichte, wird in der Literatur eigentlich ein negativer Einfluss auf das HLG erwartet (Beuch et al. 2016). Innerhalb dieser Untersuchung war der Zusammenhang auf Betrieb 4 jedoch positiv. Auf den anderen Betrieben ergab sich kein signifikanter Zusammenhang.

Der Ertrag beeinflusste auf allen Betrieben positiv das TKG. Auf Betrieb 2 – 7 war dieser Zusammenhang zudem signifikant. Auf Betrieb 2 ließen sich 71,9 % der Varianz des TKG durch den Ertrag erklären. Dieses Ergebnis ist allerdings mit Vorsicht zu betrachten, da dieser starke Zusammenhang vor allem durch einen Hebeleffekt von vier im TKG sehr niedrigen Punkten von Betrieb 2 ausgelöst wurde. Auf Betrieb 3 ließen sich 63,5 % der Varianz des TKG durch den Ertrag erklären. In diesem Fall gab es keinen Hebeleffekt und der Zusammenhang schien eindeutig linear zu sein.

Des Weiteren scheint ein hoher Ertrag zu einer besseren Korngrößenverteilung zu führen. Der Anteil an Körnern > 2 mm wurde auf allen Betrieben positiv durch den Ertrag beeinflusst. Auch das HLG wurde positiv durch den Ertrag beeinflusst. Der stärkste signifikante Zusammenhang ergab sich auf Betrieb 4. 60,2 % der Varianz des HLG waren durch den Ertrag erklärbar. Zudem führte ein hohes HLG zu einer Verringerung des Spelzanteils. 44,4 % der Varianz des Spelzanteils ließen sich durch das HLG erklären. Zwischen Ertrag und Spelzanteil ergab sich eine negative Korrelation, wobei diese auf den meisten Betrieben sehr gering ausfiel. Auf Betrieb 3 war der Zusammenhang am stärksten und zudem signifikant. Es ließen sich 54,7 % der Varianz des Spelzanteils durch den Ertrag erklären.

Zusammenfassend für die physikalischen Eigenschaften kann gesagt werden, dass eine Erhöhung des Ertrags keine negativen Auswirkungen auf diese Eigenschaften hatte. Das TKG, der Anteil an Körnern > 2 mm und das HLG stiegen mit einem höheren Ertrag an. Auch der Spelzanteil veränderte sich positiv durch einen höheren Ertrag. Dies sind bedeutsame Ergebnisse für die Herstellung von Speisehafer, sodass bei einer Erhöhung des Ertrags nicht mit Einbußen in den physikalischen Eigenschaften gerechnet werden muss.

Biochemische Eigenschaften

Der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ wurde auf den Betrieben 3 und 6 und der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ sowie der Proteingehalt auf den Betrieben 1 und 7 bestimmt.

Auf Betrieb 3 ließ sich zwischen dem β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ und dem Ertrag sowie den pflanzenbaulichen/physikalischen Eigenschaften kein signifikanter Zusammenhang feststellen. Auf Betrieb 6 hingegen korrelierte der β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ negativ und signifikant mit dem Ertrag, dem TKG und dem Anteil an Körnern > 2,00 mm. Diese negativen Korrelationen können bei der Herstellung von Speisehafer sehr wichtig sein, da eine Erhöhung der einen Qualitätseigenschaft zu einer Verschlechterung der anderen führt. Ein züchterischer Fortschritt, in dem die Eigenschaften neutral oder positiv aufeinander wirken, wäre von großem Vorteil.

Auf Betrieb 7 ließ sich zwischen β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und dem Ertrag und den pflanzenbaulichen/physikalischen Eigenschaften kein signifikanter Zusammenhang feststellen. Auf Betrieb 1 gab es jedoch eine positive und signifikante Korrelation zwischen β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und dem HLG, und eine negative und signifikante Korrelation zwischen β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und dem Spelzanteil. Auch hier können Kenntnisse über den positiven Zusammenhang zwischen HLG und β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ bei der Herstellung von Speisehafer wichtig sein, da durch die Verbesserung der einen Eigenschaft keine Verschlechterung der anderen befürchtet werden muss. Ein negativer Zusammenhang zwischen β-Glucan-Gehalt und Spelzanteil wurde bereits vermutet, da der β-Glucan-Gehalt laut Literaturangaben im Spelzanteil vernachlässigbar gering ist (Welch 1995, S. 305).

Der Proteingehalt und der β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ waren signifikant und positiv miteinander korreliert (R^2=0,59). Ein positiver Zusammenhang dieser Eigenschaften ist wünschenswert und wurde auch in anderen Studien beobachtet (Yan et al. 2007). Des Weiteren korrelierte der Proteingehalt positiv und signifikant mit dem Ertrag. 37,0 % der Varianz des Proteingehaltes ließen sich durch den Ertrag erklären. In der Literatur wurden sowohl kein als auch ein negativer Zusammenhang zwischen Proteinen und Ertrag gefunden (Welch und Yong 1980, Peltonen-Sainio und Peltonen 1993).

Einfluss des NDVI auf den Ertrag

Der Zusammenhang zwischen NDVI und Ertrag war auffallend stark. Auf Betrieb 5 ließen sich ganze 95,5 % und auf Betrieb 4 88,3 % der Varianz im Ertrag durch den NDVI erklären. Auf allen Betrieben war die Korrelation positiv und auf Betrieb 1 – 6 war sie zudem signifikant. Auf Betrieb 7 ließ sich eine Tendenz erkennen.

Die Satellitenbilder, mit denen der NDVI (unabhängig von der BGSE) berechnet wurde, stammten vom 19.06.2019 und vom 29.06.2019. Dieser zeitliche Rahmen von einem bis anderthalb Monaten vor der Ernte scheint geeignet zu sein, um anhand des NDVIs Vorhersagen über den Ertrag zu machen. Empfehlenswert wären Zeitreihenstudien des NDVIs, um den optimalen Zeitpunkt der Satellitenbilder für die Ertragsvorhersage zu finden. Auch könnte ein Vergleich des NDVIs über mehrere Jahre hinweg interessant sein, um zu überprüfen ob ertragsschwache Standorte mit niedrigen NDVI Werten bzw. ertragsstarke Standorte mit hohen NDVI Werten über die Zeit gleich bleiben oder sich ändern.

Einfluss der Saatstärke

Informationen über die Saatstärke lagen nur von drei Betrieben vor. Auf Betrieb 1 lag diese bei 320, auf Betrieb 6 bei 300 und auf Betrieb 5 bei 280 Körnern/m². Der Einfluss der Saatstärke auf die Bestandeshöhe und die Rispendichte war nicht signifikant. Der Zusammenhang zwischen Saatstärke und Ertrag, TKG, Anteil K> 2, HLG und Spelzanteil war hingegen signifikant. Allerdings fiel der positive Zusammenhang mit dem Ertrag und dem TKG sehr gering aus. Der Einfluss auf den Anteil an Körnern > 2 mm, das HLG und den Spelzanteil war dahingegen bereits etwas größer. Eine hohe Saatstärke führte zu einer Verringerung des Anteils an Körnern > 2 mm. Insgesamt ließen sich 52,5 % der Varianz des Anteils an Körnern > 2 mm durch die Saatstärke erklären. Auf Betrieb 1 war die Saatstärke mit 320 Körnern/m² am höchsten und zugleich war er der einzige Betrieb, der den Anforderungen der Industrie nach einem Mindestanteil an Körnern > 2 mm von 90 %, nicht gerecht werden konnte. Das HLG fiel ebenfalls mit steigender Saatstärke geringer aus. Der Zusammenhang war signifikant und 44,8 % der Varianz des Hektolitergewichts ließen sich durch die Saatstärke erklären. Um das HLG zu erhöhen, sollte die Saatstärke ggf. herabgesetzt werden. Der Spelzanteil stieg mit einer höheren Saatstärke an und es ließen sich 46,1 % der Varianz des Spelzanteils durch die Saatstärke erklären. Auch hier könnte eine Herabsetzung der Saatstärke eine geeignete

Managementmethode darstellen. Dabei müssen allerdings anderweitige Nachteile bedacht werden, die mit einer Verringerung der Saatstärke einhergehen können. Dazu gehört zum Beispiel ein erhöhtes Unkrautaufkommen.

6 Zusammenfassung

Für die Produktion von Speisehafer sind entlang der Wertschöpfungskette verschiedene Eigenschaften und Qualitätsmerkmale des Hafers von Bedeutung (Wrigley und Batey 2010, S. 12). Die Anforderungen der weiterverarbeitenden Industrie sind hoch und müssen vom Landwirt erfüllt werden. Dabei können standortangepasste und teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmethoden behilflich sein. Zwar finden verschiedene Precision Farming Technologien beim Anbau von Getreide eine immer größer werdende Bedeutung, allerdings ist vor allem beim Hafer wenig über feldinterne Variation im Ertrag und in einigen anderen Eigenschaften bekannt und der Einsatz von Precision Farming Technologien entsprechend gering.

Mit Hinblick auf diese Problematik wurde innerhalb dieser Arbeit eine Untersuchung durchgeführt, um Variationen und Zusammenhänge einiger pflanzenbaulicher Eigenschaften und Qualitätseigenschaften von Hafer zu erschließen. Zu den untersuchten Eigenschaften gehören Ertrag, Bestandeshöhe, Rispendichte, Tausendkorngewicht, Hektolitergewicht, Anteil an Körnern > 2 mm, Spelzanteil, β-Glucan- und Proteingehalt. Haferproben wurden von insgesamt elf Haferfelder von sieben landwirtschaftlichen Betrieben in Mecklenburg-Vorpommern entnommen. Großräumige Variationen im Ertrag und den genannten Eigenschaften wurden durch eine Untersuchung des Faktors Betrieb abgebildet. Da zwei Betriebe ökologisch und fünf Betriebe konventionell bewirtschaftet wurden, konnten zudem diese beiden Betriebsformen miteinander verglichen werden. Des Weiteren wurden kleinräumige Variationen innerhalb der Felder durch den Vergleich von „guten“ und „schlechten“ Standorten erfasst. Diese Standorte wurden vor der Beprobung durch eine Biomasse gestützt Standorteinschätzung (BGSE) von einem Experten ausgewählt. Mithilfe der BGSE wurden anhand von Luft- und Satellitenbildern Punkte (Standorte) auf den Haferfeldern ausgewählt, an denen entweder besonders viel oder wenig Biomasse vermutet und die dementsprechend als „gut“ oder „schlecht“ bezeichnet wurden. So konnten auf den elf Feldern insgesamt 76 Punkte (38 „gute“ und 38 „schlechte“) zur Beprobung ausgewählt werden. Diese Punkte wurden mithilfe des Faktors BGSE-Standortgüte auf signifikante Unterschiede im Ertrag und in den Eigenschaften untersucht. Zusätzlich wurde der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) auf den 76 Punkten anhand von Satellitenbildern bestimmt und in Zusammenhang mit dem Ertrag dieser Punkte gesetzt.

Die Ergebnisse zum Einfluss der Faktoren „Betrieb“ und „Betriebsform“ sind in den folgenden Punkten zusammengefasst:

- Der Ertrag, die pflanzenbaulichen (Bestandeshöhe, Rispendichte) und die physikalischen Eigenschaften (TKG, Anteil an Körnern > 2mm, HLG, Spelzanteil) waren zwischen den Betrieben signifikant unterschiedlich. Der Einfluss auf den β-Glucan-Gehalt$_{AAS}$ und den Proteingehalt war ebenfalls signifikant.
- Der Ertrag war auf den konventionell bewirtschafteten Betrieben mit einer Differenz von 22,4 dt/ha signifikant höher als auf den ökologisch bewirtschafteten Betrieben. Wird jedoch Betrieb 3, der mit einem extrem hohen Ertrag von 204,8 dt/ha als Einzelfall betrachtet werden sollte, auf Seiten der konventionellen Betriebe von der Analyse ausgeschlossen, fiel der durchschnittliche Ertrag der ökologischen Betriebe mit einer Differenz von 1,4 dt/ha höher aus, als der Ertrag der konventionellen Betriebe.
- Das TKG und der Anteil an Körnern > 2 mm waren auf den konventionellen Betrieben signifikant höher als auf den ökologischen Betrieben. Der Spelzanteil war auf den ökologischen Betrieben signifikant höher als auf den konventionellen Betrieben.
- Der Ertrag und die Bestandeshöhe fielen auf einigen Betrieben unterdurchschnittlich gering aus. Das HLG war auf allen Betrieben unter den von der Industrie erwarteten 54 kg/hl. Es wird ein Zusammenhang mit den heißen und trockenen Witterungsbedingungen im Jahr 2019 vermutet.

Die Ergebnisse stellen deutlich dar, dass die Variation des Ertrags und der Eigenschaften zwischen den Betrieben und den Betriebsformen groß war. Da auf den Betrieben zum Teil unterschiedliche Sorten angebaut wurden, könnten teilweise auch Sorteneffekte für die Unterschiede verantwortlich sein. Es sind weitere Untersuchungen mit Hinblick auf Wechselwirkungen zwischen Anbauort und Sorte zu empfehlen. Die Variation des Ertrags und der Eigenschaften war nicht nur zwischen den Betrieben, sondern auch zwischen den nach BGSE eingeteilten guten und schlechten Standorten groß. Die Ergebnisse zum Einfluss der BGSE-Standortgüte sind in den folgenden Punkten zusammengefasst:

- Der Einfluss der BGSE-Standortgüte machte sich beim Ertrag am stärksten bemerkbar: auf zehn von elf Feldern war der Ertrag auf den nach BGSE als gut eingeschätzten Standorten im Durchschnitt um 21,7 dt/ha höher als auf den schlechten Standorten. Der Einfluss war signifikant.
- Die Methode der BGSE hat sich als geeignet erwiesen, um feldinterne Variationen im Ertrag zu erschließen. Die vom Experten als gut und schlecht eingeschätzten Standorte haben sich tatsächlich als gute (ertragsstarke) und schlechte (ertragsarme) Standorte herausgestellt.
- Auch bei den pflanzenbaulichen und physikalischen Eigenschaften war die Variation zwischen den Standorten hoch und auf einigen Feldern konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden, wobei die Eigenschaften auf den guten Standorten besser ausfielen.
- Von allen pflanzenbaulichen und physikalischen Eigenschaften war die Variation des Spelzanteils zwischen den Standorten am geringsten. Nur auf einem von elf Feldern ergab sich ein signifikant höherer Spelzanteil auf den schlechten Standorten.
- Der β-Glucan-Gehalt fiel in der Tendenz auf den schlechten Standorten höher aus als auf den guten Standorten. Die Gründe, die diese Variation auslösten sind zu Zeit unbekannt und es konnten nur Vermutungen angestellt werden.
- Die Variation des Proteingehalts zwischen den Standorten war auf den Feldern gegensätzlich: Auf einem Feld war der Proteingehalt in der Tendenz auf den nach BGSE als gut eingeschätzten Standorten und auf einem anderen Feld auf den nach BGSE als schlecht eingeschätzten Standorten höher. Weitere Untersuchungen mit größerem Stichprobenumfang sind erforderlich.

Durch die Ergebnisse der BGSE-Standortgüte ist ersichtlich, dass die Variation von Ertrag und den meisten Eigenschaften zwischen guten und schlechten Standorten groß war. Diese Erkenntnisse sorgen für ein besseres Verständnis von feldinternen Standortunterschieden und können somit eine standortangepasste Bewirtschaftung, wie zum Beispiel eine Anpassung der Düngung, erleichtern.

Des Weiteren fiel auf, dass innerhalb der Untersuchung auf den meisten Betrieben ein positiver, linearer und signifikanter Zusammenhang zwischen Ertrag und Bestandeshöhe, Rispendichte, TKG, dem Anteil an Körnern > 2 mm und dem HLG besteht. Kenntnisse dieser Zusammenhänge sind bei der Produktion von Speisehafer

von Bedeutung, da bei einer Ertragsverbesserung nicht mit der Verschlechterung einer anderen Eigenschaft gerechnet werden muss. Anders sah es beim β-Glucan-Gehalt$_{NIRS}$ aus, der negativ durch den Ertrag, das TKG und den Anteil an Körnern > 2 mm beeinflusst wurde. Wenn das Ziel bei der Herstellung von Haferflocken ein möglichst hoher β-Glucan-Gehalt ist, können diese negativen Zusammenhänge ein Problem darstellen.

Weiterhin konnten starke, positive und signifikante Zusammenhänge zwischen NDVI und Ertrag auf den Feldern der Betriebe erkannt werden. Auf zwei Betrieben ließen sich über 80 % und auf einem Betrieb über 90 % der Varianz des Ertrags durch den NDVI erklären. Die Berechnung des NDVIs anhand von Satellitenbildern stellt demnach eine geeignete Precision Farming Technologien dar, um Rückschlüsse auf den Ertrag innerhalb eines Feldes zu ziehen.

7 Spanische Zusammenfassung/ Resumen en español

Título de tesis: Investigación de la variación de las estructuras de rendimiento y las características de calidad de la avena comestible bajo consideración de zonas de lote extremas en Mecklemburgo-Pomerania Occidental

En la producción y en el procesamiento de le avena comestible muchas características de calidad son de importancia. Las demandas por parte de la industria son altas y el agricultor tiene el desafío de cumplirlas. Para eso, los métodos de manejo específico y adaptado a las distintas zonas dentro de un lote pueden ser de gran ayuda. Aunque la tecnología aplicada a la agricultura de precisión se está volviendo cada vez más importante en los cultivos de cereales, se sabe poco, particularmente en el caso de la avena, sobre la variación dentro de un lote del rendimiento y las características, y por tal motivo el uso de tecnologías de precisión es bajo.

Pensando en dicha problemática se llevó a cabo una investigación dentro de esta tesis para determinar las variaciones y las relaciones posibles entre algunas características de la avena y el rendimiento. Las características examinadas incluyen el rendimiento, la altura de las plantas, densidad de panojas, peso de mil granos, peso hectolítrico de los granos, porcentaje de granos > 2mm, porcentaje de cascara, contenido de proteínas y beta glucanos. La variación de estas propiedades se examinó en relación con las diferencias de zonas dentro del lote de producción y otros factores como ‘empresa’, ‘tipo de manejo’ y ‘variedad’. Siete empresas agrícolas diferentes de Mecklemburgo-Pomerania Occidental, experimentadas en el cultivo de la avena participaron en el estudio, proporcionando uno o dos lotes para realizar el muestreo, Dos empresas cultivaron la avena de forma orgánica y cinco cultivaron de manera convencional. Previo a la realización del muestreo, un experto analizó imágenes satelitales de los lotes, estimando las variaciones internas en los niveles de biomasa (ENBZ) de las zonas. Esto permitió seleccionar mediante imágenes satelitales puntos (zonas) en los lotes de avena donde se sospechaba una cantidad de biomasa extremamente alta o baja y que en consecuencia se designaron como "buenas" o "malas". De esta manera, se seleccionaron 76 puntos (zonas) para el muestreo en un total de once campos de las siete empresas. El factor que se divide en zonas „buenas” y zonas „malas” según la biomasa visible en las imágenes satelitales se denomina „ENBZ-calidad”.

Además de las diversas características, se determinó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en los 76 puntos y se relacionó con el rendimiento de estos puntos. Los resultados de la influencia de los factores empresa, tipo de empresa y tipo de manejo están resumidos en los siguientes puntos:

- El rendimiento, la altura de las plantas, la densidad de panojas, el peso de mil, el porcentaje de granos > 2 mm, el peso hectolítrico y el porcentaje de cáscara fueron significativamente diferentes entre las empresas. La influencia sobre el contenido de beta-glucano$_{AAS}$ y el contenido de proteína fue significativa también.
- Con un promedio de 2,24 t/ha el rendimiento fue significativamente mayor en las empresas del manejo convencional. Excluyendo la empresa 3, que dio un rendimiento atípicamente alto, el rendimiento de las empresas orgánicas llegaron a un rendimiento más alto.
- El peso de mil y el porcentaje de granos > 2 mm fueron significativamente mayores en las empresas convencional que en las empresas orgánicas. El porcentaje de cascaras fue significativamente mayor en las empresas orgánicas.
- En ninguna empresa se alcanzó a cumplir con las demandas de la industria en relación al peso hectolítrico, que debería ser igual o superior a 54 kg/hl. Se sospecha una conexión entre los valores bajos con las condiciones climáticas muy cálidas y secas en el año 2019.

Estos resultados muestran claramente que hubo una gran variación en el rendimiento y las características entre las empresas y el tipo de manejo. Dado que se cultivaron diferentes variedades de avena en las empresas, en algunos casos, los efectos de la variedad también podrían ser responsables de las diferencias. Se recomienda realizar investigaciones adicionales con respecto a las interacciones entre el lugar de cultivo y la variedad. La variación en el rendimiento y las características no solo fue amplia entre las empresas, sino también entre las zonas buenas y malas clasificadas según ENBZ. Los resultados de la influencia del factor ENBZ-calidad están resumidos en los siguientes puntos:

- La influencia del factor ENBZ-calidad fue lo más notable en el rendimiento: en diez de once campos, el rendimiento fue por 2,17 tn/ha más alto en las zonas donde también antes se sospechó más biomasa en las imágenes satelitales. El impacto fue significativo.

- El método de selección de zonas por imágenes satelitales ha demostrado ser adecuado para determinar las variaciones de rendimiento en el campo. Las zonas que el experto consideraba buenas (con mucha biomasa) y malas (con poca biomasa) en realidad resultaron ser buenas (con mucho rendimiento) y malas (con poco rendimiento)
- Los valores de las características estudiadas también variaron en función de las zonas, resultando ser normalmente más altos en las zonas donde se supuso que había mayor biomasa, según las imágenes satelitales
- La variación en el porcentaje de cascara no fue muy amplia entra las zonas buenas y malas según ENBZ. Solamente en uno de once lotes se encontraron diferencias significativas entre las zonas
- La variación del contenido de proteínas entre las zonas según ENBZ fue contradictoria: en un lote se encontró con tendencia un contenido mayor en las zonas donde se sospechó mucha biomasa y en otro lote se encontró más contendido en las zonas donde se sospechó poca biomasa Se requieren investigaciones adicionales con un tamaño de muestreo mayor.

Esos resultados muestran que hubo gran variación en el rendimiento y en la mayoría de las propiedades entre las zonas elegidas por imágenes satelitales. Estos conocimientos son importantes para mejorar en la identificación y selección de las distintas zonas dentro de un lote y por lo tanto permiten un manejo específico de zonas, como por ejemplo un ajuste por zona de la fertilización.

Además, hubo en la mayoría de las empresas una relación positiva, lineal y significativa entre el rendimiento y la altura de plantas, la densidad de panojas, el peso de mil, el porcentaje de granos > 2 mm y el peso hectolítrico. El conocimiento de estas relaciones es de gran importancia en la producción de avena comestible, ya que no hay que temer que un aumento del rendimiento deteriore las características de calidad. La situación fue diferente con el contenido de beta glucano, que fue influenciado negativamente por el rendimiento, el peso de mil y el porcentaje de granos > 2 mm. Si el objetivo en la producción de avena comestible es tener el mayor contenido posible de beta-glucano, esas relaciones negativas pueden ser un problema. Se recomiendan investigaciones con un muestreo del tamaño mayor. Por lo tanto, se podían reconocer relaciones fuertes, positivas y significativas entre el NDVI y el rendimiento en los campos de las empresas. En dos empresas el NDVI explicó más

del 80 % de la varianza y en una empresa más de 90 % de la varianza en el rendimiento. Por lo tanto, el cálculo de NDVI basado en imágenes satelitales es una tecnología de agricultura de precisión adecuada para sacar conclusiones sobre el rendimiento de la avena.

Literaturverzeichnis

Ajithkunar, A.; Andersson, R.; Åman, P. (2005): Content and Molecular Weight of Extractable beta-Glucan in American and Swedish Oat Samples, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 1205-1209.

Anderson, O. D. (2014): The Spectrum of Major Seed Storage Genes and Proteins in Oats (Avena sativa), *PLoS ONE* 9(7).

Andersson, Annica A. M.; Börjesdotter, Desirée (2011): Effects of environment and variety on content and molecular weight of β-glucan in oats, *Journal of Cereal Science* 54(1): S. 122-128.

Anonym (2019): schriftlicher E-Mail-Austausch mit dem Landwirt von Betrieb 2.

Anonym (2020a): Annahme von Hafer für die Herstellung von Haferflocken, eigenes Gedächtnisprotokoll vom 14.01.2020.

Anonym (2020b): Vergleichbare Methoden der β-Glucan Analytik, Peter Kölln GmbH & Co. KGaA, eigenes Gedächtnisprotokoll vom 16.01.2020.

Aufhammer, W. (1998): Getreide- und andere Körnerfruchtarten: Bedeutung, Nutzung und Anbau; 491 Tabellen, Stuttgart, Ulmer.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2010): Versuchergebnisse aus Bayern 2010, Sortenversuch HAFER.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2018): Versuchsergebnisse aus Bayern 2018, Sortenversuch HAFER.

Beuch, S.; Böse, S.; von Butler-Wemken, I.; Carter, O.; Gruber, H.; Hampshire, H.; Heisrath, J.; Iken, M.; Entrup, N. L.; Ratajczak, M.; Reisinger, R.; Rundqvist, J.; Schreiber, E.; Schöneberger, H. (2016): Getreide auf neuen Wegen. Fachwissen für Fachleute, Neuauflage 2016, SAATEN-UNION Gmbh.

Beuch, S.; Stemann, G. (2019): Hafer - Mit der Produktionstechnik Ertrag und Qualität steuern, *praxisnah*: 14-16.

Bibliographisches Institut GmbH (2019): Duden, Wörterbuch.

Brockerhoff, H. (2018): "Sommerhafer: Ergebnisse der Landessortenversuche 2018, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen." https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/getreide/sommergetreide/lsvarchiv/sommerhafer-sv-2018.htm, zuletzt am 03.12.2019.

Buerstmayr, H.; Krenn, N.; Stephan, U.; Grausgruber, H.; Zechner, E. (2007): Agronomic performance and quality of oat (Avena sativa L.) genotypes of worldwide origin produced under Central European growing conditions, *Field Crops Research* 101(3): 343-351.

Bundesamt für Ernährungssicherheit (2015): Österreichische Beschreibende Sortenliste 2015.

Bundesanstalt für Agrarwirtschaft (o.J.): (Hrsg.) Erträge des österreichischen Biolandbaus im Vergleich zu konventioneller Produktion.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (2012): Manual de determinación de rendimiento, (CIMMYT) México.

Cho, K. C.; White, P. J. (1993): Enzymatic analysis of b-glucan content in different oat genotypes, *Cereal Chem* 70(5): 539-542.

Copernicus. (o.J.): "Über Copernicus." https://www.copernicus.eu/de/ueber-copernicus, zuletzt am 20.02.2020.

Deter, A. (2016): "Hafer als Gesundfrucht, top agrar online." https://www.topagrar.com/acker/news/hafer-als-gesundfrucht-9859429.html, zuletzt am 09.11.2019.

Deutscher Wetterdienst (2019a): Pressemitteilung - Deutschlandwetter im Juni 2019.

Deutscher Wetterdienst (2019b): Pressemittteilung - Deutschlandwetter im Juli 2019.

Deutscher Wetterdienst. (2020): "Zeitreihen und Trends." https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html#buehneTop, zuletzt am 25.02.2020.

Diepenbrock, W.; Ellmer, F.; Léon, J. (2016): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, UTB ; 2629, 4., überarbeitete Auflage, Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.

Dobers, E. S. (2019): Mündliche und schriftliche Informationen zur Biomasse gestützten Standorteinschätzung (BGSE).

Doehlert, D. C.; McMullen, M. S.; Hammond, J. J. (2001): Genotypic and Environmental Effects on Grain Yield and Quality of Oat Grown in North Dakota, *Crop Science* 41: S. 1066 - 1072.

Doehlert, D. C.; McMullen, M. S.; Jannink, J.-L. (2006): Oat Grain/Groat Size Ratios: A Physical Bsis for Test Weight, *Cereal Chem* 83(1): 114-118.

Europäische Weltraumorganisation. (o.J.): "Sentinel Online." https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home, zuletzt am 20.02.2020.

European Food Safety Authority (2011): Scientific Opinion on the substantiation of a health claim related to barley beta-glucans and lowering of blood cholesterol and reduced risk of (coronary) heart disease pursuant to Article 14 of Regulation (EC) No 1924/2006, *EFSA Journal* 9(12).

FAO. (2017): "Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT, Data, Crops." http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC, zuletzt am 17.11.2019.

Farack, M.; Degener, J.; Schreiber, E.; Zorn, W.; Götz, R.; Paul, R. (2011): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglcihen Erzeugung von Wintergerste. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.).

Franz, E.; Booij, K.; van der Fels-Klerx, I. (2009): Prediction of Deoxynivalenol Content in Dutch Winter Wheat, *Journal of food Production* 72(10): 2170-2177.

Frølich, W.; Nyman, M. (1988): Minerals, phytate and dietary fibre in different fractions of oat-grain, *Journal of cereal science* 7(1): 73-82.

Google Maps. (2020): "Kartendaten ©2020 GeoBasis-DE/BKG ©2009 Google." https://www.google.com/maps/place/R%C3%BCgen/@53.9721198,12.2296254,8.75z/data=!4m5!3m4!1s0x47ab43be69cbbd7f:0x80ba77d923cc7534!8m2!3d54.3519967!4d13.3630491?hl=de-DE, zuletzt am 20.03.2020.

Hanus, H.; Heyland, K.-U.; Keller, E. R. (2008): Getreide und Futtergräser. Mit 252 Tabellen, Handbuch des Pflanzenbaues 2, Stuttgart (Hohenheim), Ulmer.

Hauptgenossenschaft Nord AG, Kiel (2019): Einkaufsbedingungen für Getreide inkl. Mais, Hülsenfrüchte und Ölsaaten. Region: HaGE Schleswig-Holstein.

Heege, H. J. (Hrsg.) (2013): Precision in Crop Farming. Site Specific Concepts and Sensing MEthods: Applications and Results, Springer.

Holzapfel, C. (2015): Ballaststoffe aus Hafer senken Cholsterin, *MMW - Fortschritte der Medizin* 157(7): S. 32.

Honkavaara, E.; Saari, H.; Kaivosoja, J.; Pölönen, I.; Hakala, T.; Litkey, P.; Mäkynen, J.; Pesonen, L. (2013): Processing and Assessment of Spectrometric, Stereoscopic Imagery Collected Using a Lightweight UAV Spectral Camera for Precision Agriculture, *Remote Sensing* 5: 5006-5039.

Hufnagel, J. (2004): Precision Farming. Analyse, Planung, Umsetzung in die PRaxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt: KTBL (KTBL-SChrift, 419).

Hunt, E. R.; Daughtry, C. S. T.; Mirsky, S. B.; Hiveley, W. D. (2014): Remote Sensing With Simulated Unmanned Aircraft Imagery for Precision Agriculture Applications, *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observation Remote Sensing* 7(11): 4566-4571.

Index Mundi. (2019): "Agriculture, Oats." https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=oats&graph=exports, zuletzt am 17.11.2019.

Jadhav, S. J.; Lutz, S. E.; Ghorpade, V. M.; Salunkhe, D. K. (1998): Barley: Chemistry and Value-Added Processing, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 38(2): 123-171.

Jannoura, R.; Brinkmann, K.; Uteau, D.; Bruns, C.; Joergensen, R. G. (2015): Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter, *Biosystems Engineering* 129: 341-351.

Kilian, L. (2012): Food Security & Staple Crops, IAEA Bulletin 53-3: 11.

Kolbe, H. (2013): Standortangepasste Humusbilanzierung im konventionellen Ackerbau. Informationen für Praxis, Bebratung und Schulung. Landesanstalt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.).

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (2013): Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Fachbegriffe.

Labus, M. P.; Nielsen, G. A.; Lawrence, R. L.; Engel, R.; Long, D. S. (2010): Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing* 23(20): 4169-4180.

Landesanstalt für Landwirtschaft. (o.J.): "Hafer: Allgemeine Anbauhinweise." https://www.lfl.bayern.de/ipz/getreide/022932/index.php, zuletzt am 03.12.2019.

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (2017): Anbautelegramm Getreide.

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (2019): Stand der Kulturen 02.07.2019.

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (2020): Sortenempfehlung Sommergetreide 2020 Anbaugebiet D-Nord/ MV-Süd.

Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg (2017): Steckbrief Hafer.

Lilienthal, H. (2014): Optische Sensoren in der Landwirtschaft: Grundlagen und Konzepte, *Journal für Kulturpflanzen* 66(2).

Matissek, R.; Steiner, G.; Fischer, M. (2010): Lebensmittelanalytik. Springer, Berlin-Heidelberg.

Meyer, H.; Coenen, M. (2002): Pferdefütterung, 4. Auflage, Enke.

Miedaner, T. (2014): Kulturpflanzen. Botanik - Geschichte - Perspektiven, Editor. Berlin [u.a.], Springer Spektrum**:** Online-Ressource (X, 263 S.).

Moore, J. C.; DeVries, J. W.; Lipp, M.; Griffiths, J. C.; Abernethy, D. R. (2010): Total Protein Methods and Their Potential Utility to Reduce the Risk of Food Protein Adulteration, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9(4): 330-357.

National Aeronautics and Space Administration. (o.J.): "Landsat Science." https://landsat.gsfc.nasa.gov/, zuletzt am 20.02.2020.

Noack, Patrick Ole (2019): Precision Farming Smart Farming Digital Farming. Grundlagen und Anwendungsfelder, Berlin, Wichmann.

Nowak, A. (2019): Strategien der pflanzenbaulichen Optimierung im Produktionsverfahren Speisehafer durch Precision Farming Technologien, Hausarbeit im Modul Precision Farming an der Hochschule Neubrandenburg.

Obst, A.; Gehring, K. (2002): Getreide. Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter. Gelsenkirchen-Buer.

Paccapelo, H.; Ferreira, V.; Picca, A.; Ferrari, E.; Domínguez, R.; Grassi, E.; Ferreira, A.; di Santo, H.; Castillo, E. (2017): Triticale (x Triticosecale Wittmack): Rendimeinto y sus componentes en un ambiente semiárido de la Argentina, *Chilean Journal of Agriculture and Animal Science* 33(1): 45-58.

Peltonen-Sainio, P. (1994): Yield Component Differences between Naked and Conventional Oat, *Agronomy Journal* 86: 510-513.

Peltonen-Sainio, P.; Peltonen, J. (1993): Improving grain yield and quality of oats in northern growing conditions, *Canadian Journal of plant Science* 73: 729-735.

Peter Kölln KGaA (2012): Beta-Glucan aus Hafer. Gesundheitsbezogenen Aussagen im Rahmen der Health-Claims-Verordnung und weitere ernährungsphysiologische Eigenschaften, *Ernährungs Umschau* 4: S. 242-243.

Peterson, D. M. (1976): Protein Concentration, Concentration of Protein Fractions, and Amino Acid Balance in Oats, *Crop Science* 16.

Peterson, D. M. (1991): Genotype and Environment Effects on Oat Beta-Glucan Concentration, *Crop Science* 31(6): 1517-1520.

Peterson, D. M.; Wesenberg, D. M.; Burrup, D. E.; Ericksond, C. A. (2005): Relationships among Agronomic Traits and Grain Composition in Oat Genotypes Grown in Different Environments, *Crop Science* 45: 1249-1255.

Pfeiffer, T. (2017): Hafer als Reis des Nordens, Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Pfeuffer GmbH. (2019): "Produkte, Qualitätskontrolle von Getreide und Saaten." https://www.pfeuffer.com/de/produkte, zuletzt am 24.02.2020.

Poehlman, J. M. (1987): Breeding Field Crops, Springer.

Pomeroy, S.; Tupper, R.; Cehun-Aders, M.; Mestel, P. (2001): Oat β-glucan lowers toatl and LDL-cholesterol, *Australien Journal of Nutrition and Dietetics* 58(1): S. 51-55.

Proplanta GmbH & Co. KG. (o.J.): "Tausendkorngewicht (TKG) | Agrar-Lexikon." https://www.proplanta.de/Agrar-Lexikon/Tausendkorngewicht+%28TKG%29_ll1231060814.html, zuletzt am 12.02.2020.

Raiffeisen Uckermark (2014): Abrechnungsbedingungen Getreide/Ölsaaten Ernte 2014.

Redaelli, R.; Del Frate, V.; Bellato, S.; Terracciano, G.; Ciccoritti, R.; Germeier, C. U.; De Stefanis, E.; Sgrulletta, D. (2013): Genetic and environmental variability in total and soluble β-glucan in European oat genotypes, *Journal of Cereal Science* 57(2): S. 193-199.

Reiner, L. (1983): Hafer aktuell, Frankfurt a.M.

Schellberg, J.; Kühbauch, W. (1991): Reflexionsmessungen von Weizenbeständen zum Zweck der fernerkundlichen Zustandsbeschreibung und Ertragsschätzung, *Berichte der GIL, Bd. 1*: 61-68.

Schuster, M.; Kolbe, H.; Bauer, K.; Jäckel, U. (2015): Berichte aus dem ökolandbau. Schriftenreihe, Heft 2/2015, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

Simes, R. J. (1986): An improved Bonferroni procedure for multiple tests of significanca, *Biometrika* 73(3): 751-754.

Singh, Anil Kumar (2010): Precision farming, *Water Technology Centre, IARI, New Delhi*.

Söderström, M.; Börjesson, T.; Roland, B.; Stadig, H. (2014): Modelling within-field variations in deoxynivalenol (DON) content in oats using proximal and remote sensing, *Precision Agriculture* 16(1): 1-14.

Souci, S. W.; Fachmann, W.; Kraut, H. (2008): Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwert-Tabellen, 7., revidierte und ergänzte Auflage, Stuttgart, MedPharm Scientific Publishers.

Statistisches Bundesamt (2018): Statistisches Jahrbuch. Deutschland und Internationales.

Statistisches Bundesamt. (2019a): "Feldfrüchte/ Tabellen." https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/liste-feldfruechte-zeitreihe.html, zuletzt am 19.11.2019.

Statistisches Bundesamt (2019b): Land- und Fortwirtschaft, Fischerei. Wachtum und Ernte -Feldfrüchte- (August/September 2019).

Statistisches Bundesamt (2019c): Wachstum und Ernte - Feldfrüchte - Juni - Fachserie 3 Reihe 3.2.1 16/2018.

Stewart, D.; McDougall, G. (2014): Oat agriculture, cultivation and breeding targets: implications for human nutrition and health, *British Journal of Nutrition* 112: S. 50-57.

Sticksel, E. ; Schächtl, J.; Huber, G.; Liebler, J.; Maidl, F.-X. (2003): Tagesgänge ausgewählter Vegetationsindizes in Winterweizen *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 15: 75–78.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2016): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Sommerhafer, Oktober 2016, 6. Aufl.

Trowell, H (1976): Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases, *The American Journal of Clinical Nutrition* 29(4): 417-427.

Tscheuschner, H.-D. (Hrsg.) (2004): Grundzüge der Lebensmitteltechnik. Behr's Verlag.

United Nations. (2017): "World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100." https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html, zuletzt am 09.11.2019.

Usowicz, B.; Lipiec, J. (2017): Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil, *Soil and Tillage Research* 174: 241-250.

Webster, F. H.; Wood, P. J. (Hrsg.) (2011): Oats: chemistry and technology, Second Edition, AACC International.

Weissteiner, C. J. (2003): Einsatz von Fernerkundungsdaten und bodengestützten Daten zur regionalen Ertragsvorhersage von Braugerste (Hordeum vulgare L), Inaugural-Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Welch, R. W. (1995): Oat Crop. Production and Utilization, Editor. Dordrecht, Springer Netherlands**:** 1 Online-Ressource (604 pages).

Welch, R. W.; Yong, Y. Y. (1980): The Effects of Variety and Nitrogen Fertiliser on Protein Production in Oats, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 31: 541-548.

Wrigley, C. W.; Batey, I. L. (Hrsg.) (2010): Cereal grains: assessing and managing quality, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Number 190, Woodhead Publishing Limited.

Yan, Weikai; Frégeau-Reid, J.; Pageau, Denis; Martin, Richard (2016): Genotype-by-Environment Interaction and Trait Associations in Two Genetic Populations of Oat, *Crop Science* 56(3).

Yan, Weikai; Molnar, S. J.; Fregeau-Reid, J.; McElroy, A.; Tinker, N. A. (2007): Associations Among Oat Traits and Their Responses to the Environment, *journal of Crop Improvement* 20(1/2).

Zhang, C.; Kovacs, J. M. (2012): The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture. A review., *Precision Agriculture* 13(6): 693-712.

Zhao, B.; Ma, B. L.; Hu, Y.; Liu, J. (2015): Characterization of nitrogen and water status in oat leaves using optical sensing approach, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(2): 367-378.

Ziegler, K. V. (2013): Analyse pflanzenbaulicher Parameter von Winter-Ackerbohen (Vicia faba L.) im pannonischen Klimaraum, Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

Anhang

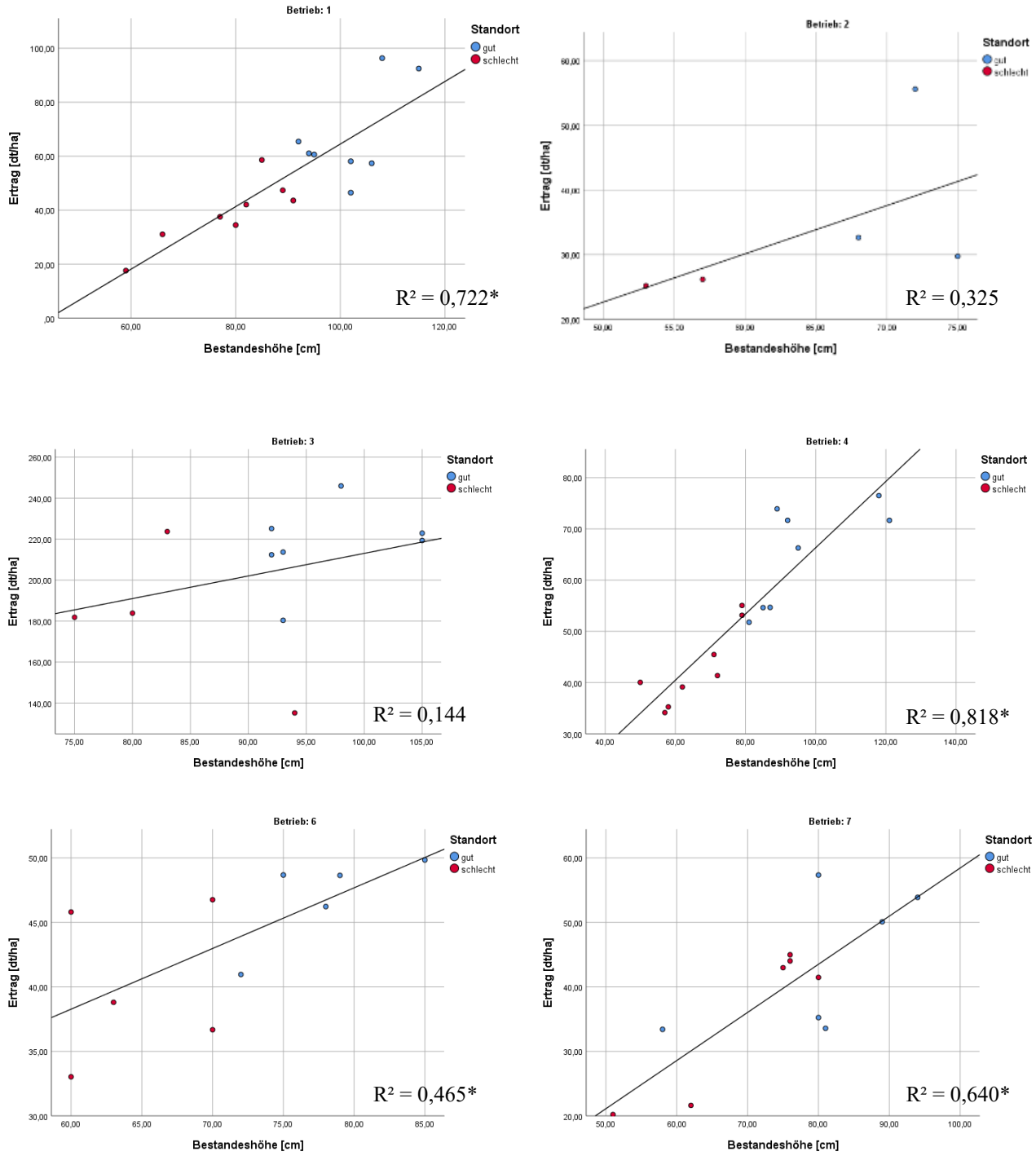


*Abbildung A 1: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und der Bestandeshöhe [cm] von Haferproben im Erntejahr 2019 auf den Betrieben 1, 2, 3, 4, 6 und 7 im Erntejahr 2019; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

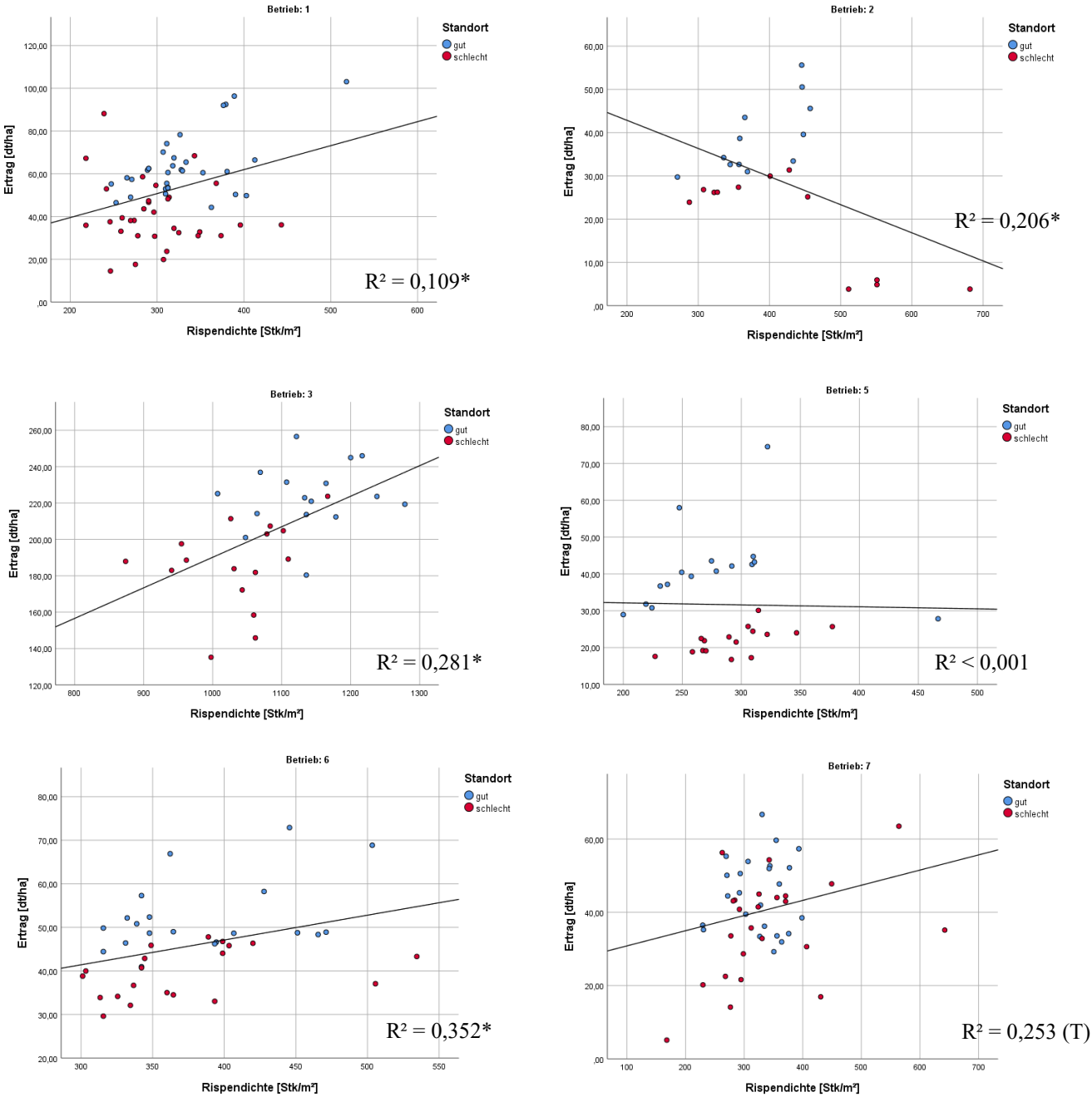


*Abbildung A 2: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und der Rispendichte [Stk/m²] von Haferproben im Erntejahr 2019 auf den Betrieben 1, 2, 3, 5, 6 und 7 im Erntejahr 2019; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

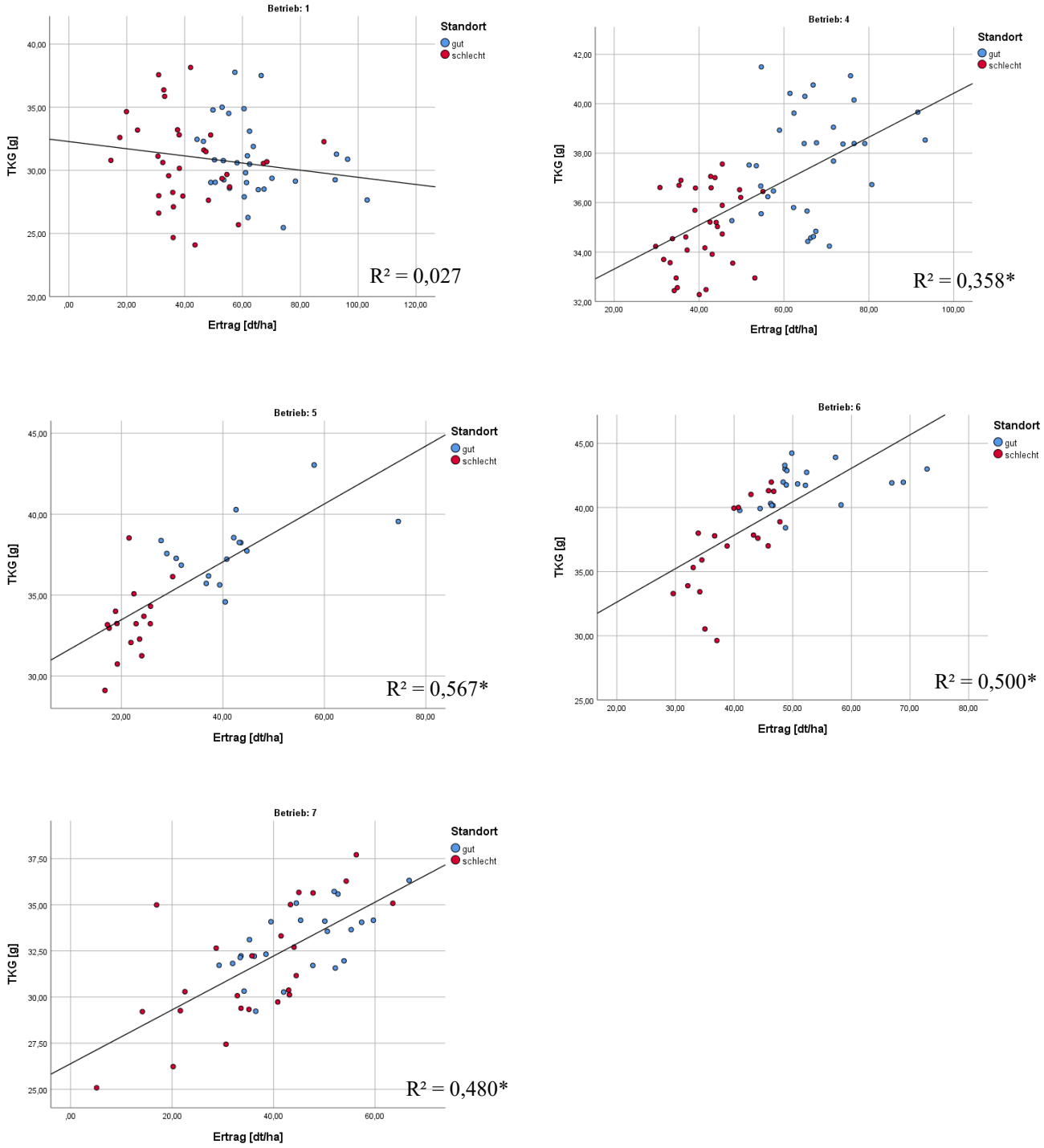
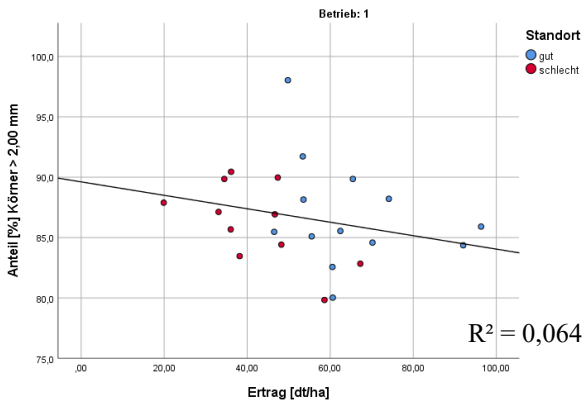
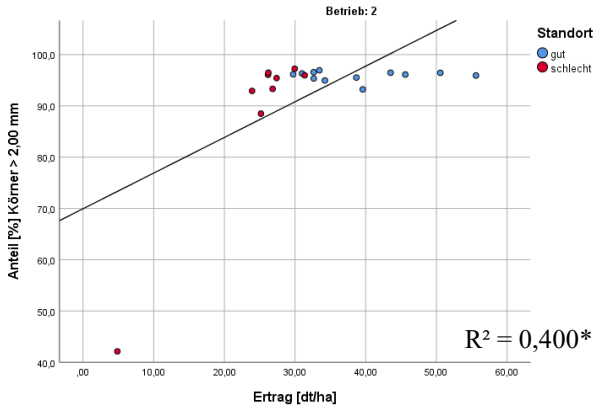
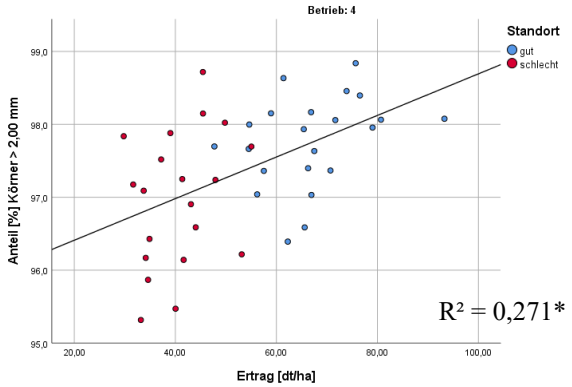
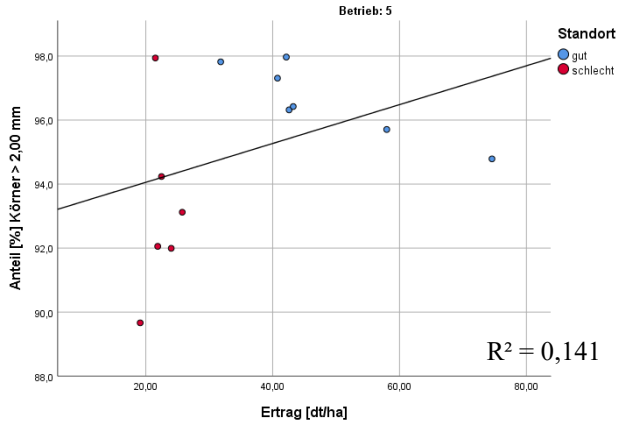


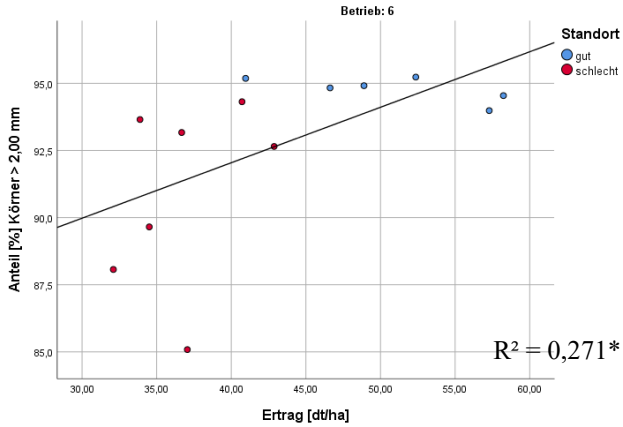
*Abbildung A 3: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des TKG [cm] von Haferproben im Erntejahr 2019 auf den Betrieben 1, 4, 5, 6 und 7 im Erntejahr 2019; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*











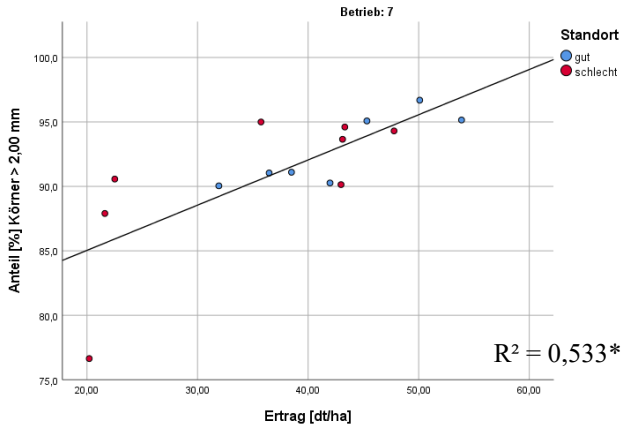


*Abbildung A 4: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Anteils [%] der Körner > 2,00 mm von Haferproben im Erntejahr 2019 auf den Betrieben 1, 2, 4, 5, 6 und 7 im Erntejahr 2019; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

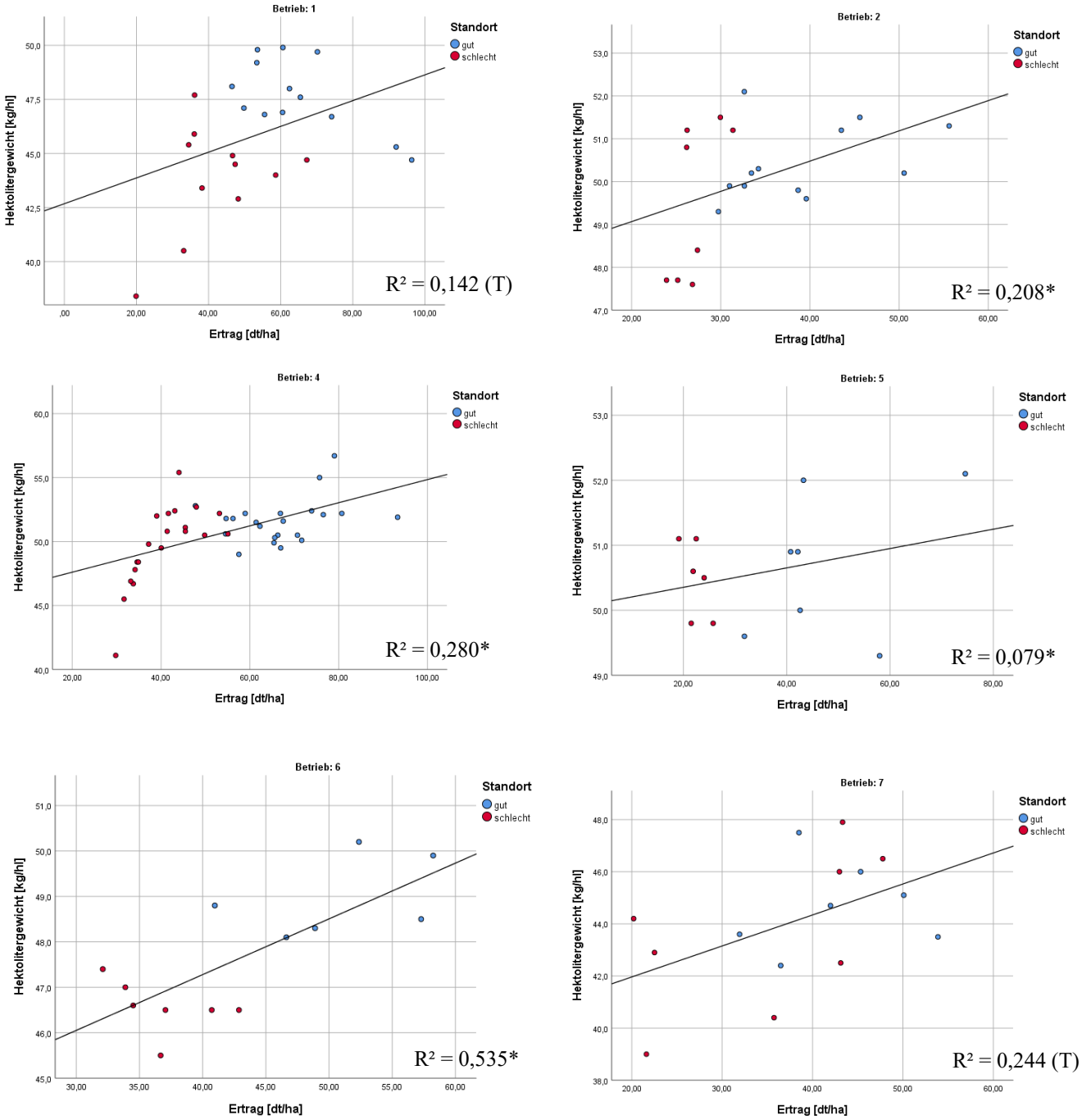


*Abbildung A 5: Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des HLG [kg/hl] von Haferproben im Erntejahr 2019 auf den Betrieben 1, 2, 4, 5, 6 und 7 im Erntejahr 2019; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

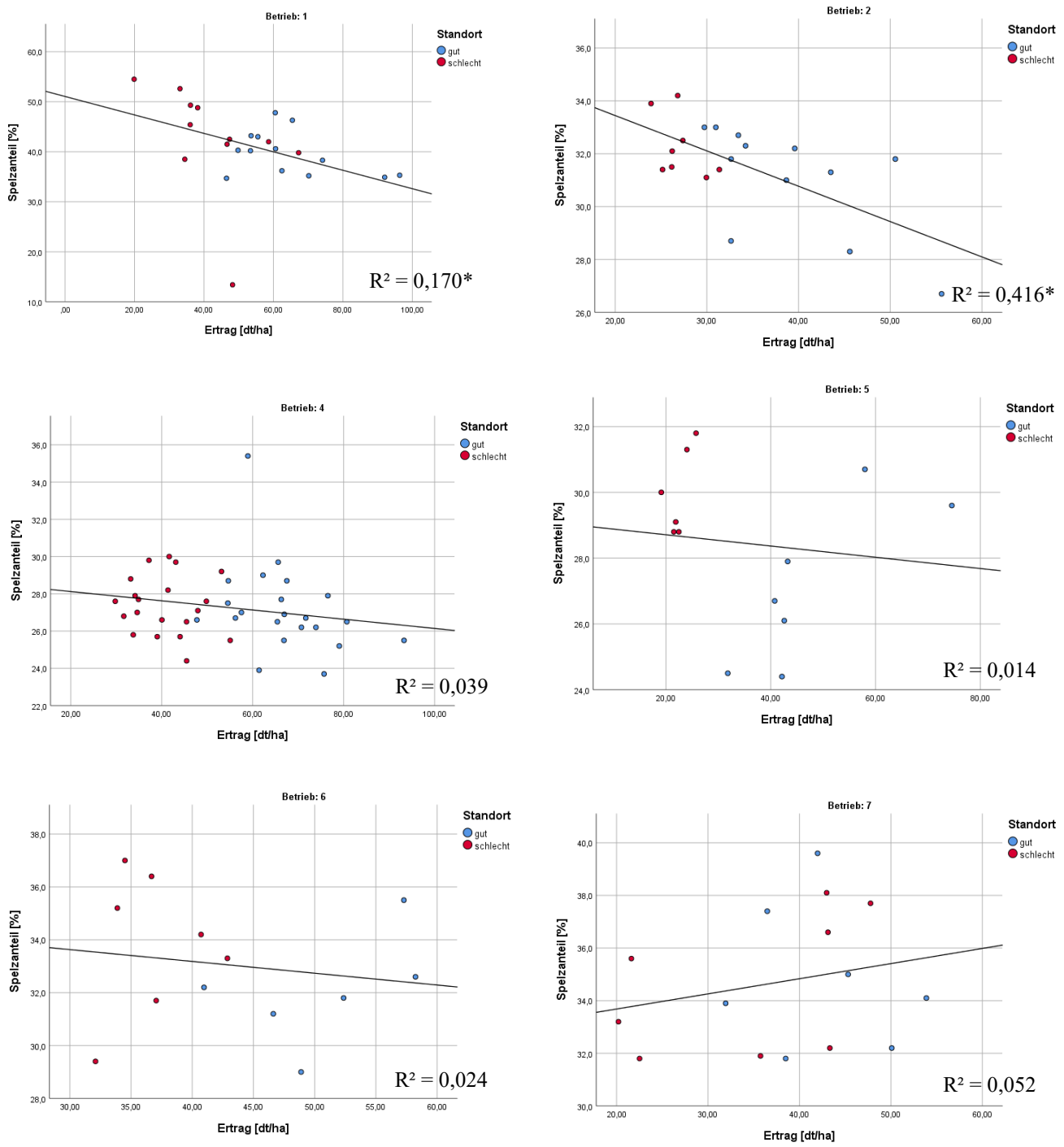


*Abbildung A 6: Statistischer Zusammenhang des Ertrags [dt/ha] und des Spelzanteils [%] von Haferproben im Erntejahr 2019 auf den Betrieben 1, 2, 4, 6 und 7 im Erntejahr 2019; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von α = 0,05*

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	1	
Feld	1	
Standort	1	gut

Gültige Fälle = 16; Fälle mit fehlenden Werten = 16.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	16	69,73	18,29	44,28	103,08
Bestandeshöhe [cm]	4	106,75	6,18	102,00	115,00
Rispendichte [Stk/m²]	16	334,64	68,72	247,22	518,06
TKG [g]	16	30,77	2,48	25,46	34,78
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	7	87,44	4,83	84,36	98,03
Hektolitergewicht [kg/hl]	7	47,09	1,72	44,70	49,70
Spelzanteil [%]	7	36,41	2,11	34,70	40,30
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	4	3,20	,12	3,10	3,30
Proteingehalt [%]	4	13,43	,38	13,00	13,90

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	1	
Feld	1	
Standort	2	schlecht

Gültige Fälle = 16; Fälle mit fehlenden Werten = 16.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	16	51,96	13,75	35,90	88,16
Bestandeshöhe [cm]	4	85,50	6,19	77,00	91,00
Rispendichte [Stk/m²]	16	280,03	42,41	218,06	368,06
TKG [g]	16	29,63	2,52	24,09	33,21
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	6	84,57	3,50	79,83	89,97
Hektolitergewicht [kg/hl]	6	44,07	,79	42,90	44,90
Spelzanteil [%]	6	38,00	12,44	13,40	48,80
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	4	3,35	,06	3,30	3,40
Proteingehalt [%]	4	12,83	,71	11,80	13,40

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	1	
Feld	2	
Standort	1	gut

Gültige Fälle = 16; Fälle mit fehlenden Werten = 16.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	16	57,66	5,55	49,04	66,46
Bestandeshöhe [cm]	4	96,75	6,29	92,00	106,00
Rispendichte [Stk/m²]	16	326,56	40,15	269,44	412,50
TKG [g]	16	30,91	3,46	26,26	37,77
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	6	86,23	4,48	80,02	91,72
Hektolitergewicht [kg/hl]	6	48,37	1,43	46,80	49,90
Spelzanteil [%]	6	43,52	3,03	40,20	47,80
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	4	3,02	,17	2,80	3,20
Proteingehalt [%]	4	12,32	1,16	11,30	13,80

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	1	
Feld	2	
Standort	2	schlecht

Gültige Fälle = 16; Fälle mit fehlenden Werten = 16.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	16	30,29	7,60	14,52	42,06
Bestandeshöhe [cm]	4	71,75	11,09	59,00	82,00
Rispendichte [Stk/m²]	16	318,26	53,07	246,30	443,06
TKG [g]	16	31,86	4,04	24,67	38,15
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	5	88,20	1,96	85,67	90,45
Hektolitergewicht [kg/hl]	5	43,58	3,94	38,40	47,70
Spelzanteil [%]	5	48,06	6,37	38,50	54,50
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	4	2,73	,32	2,40	3,00
Proteingehalt [%]	4	10,78	,76	9,90	11,70

Abbildung A 7: Statistiken einiger Eigenschaften von Haferproben auf Betrieb 1 im Erntejahr 2019 nach Feldern und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	4	
Feld	1	
Standort	1	gut

Gültige Fälle = 16; Fälle mit fehlenden Werten = 16.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	16	64,88	8,96	47,73	80,70
Bestandeshöhe [cm]	4	90,25	4,27	85,00	95,00
Rispendichte [Stk/m²]	16	363,33	40,64	270,67	434,67
TKG [g]	16	35,97	1,34	34,24	38,39
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	16	97,57	,60	96,39	98,46
Hektolitergewicht [kg/hl]	16	51,02	1,12	49,00	52,80
Spelzanteil [%]	16	27,41	1,10	26,20	29,70
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	0	.	.	.	.
Proteingehalt [%]	0	.	.	.	.

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	4	
Feld	1	
Standort	2	schlecht

Gültige Fälle = 16; Fälle mit fehlenden Werten = 16.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	16	40,76	7,99	29,77	55,05
Bestandeshöhe [cm]	4	66,25	15,00	50,00	79,00
Rispendichte [Stk/m²]	16	308,83	40,87	252,00	409,33
TKG [g]	16	33,93	1,38	32,28	36,45
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	16	96,80	,95	95,32	98,72
Hektolitergewicht [kg/hl]	16	49,46	3,46	41,10	55,40
Spelzanteil [%]	16	27,47	1,38	25,50	30,00
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	0	.	.	.	.
Proteingehalt [%]	0	.	.	.	.

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	4	
Feld	2	
Standort	1	gut

Gültige Fälle = 16; Fälle mit fehlenden Werten = 16.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	16	68,41	12,34	51,78	93,27
Bestandeshöhe [cm]	4	101,75	20,68	81,00	121,00
Rispendichte [Stk/m²]	16	406,58	99,18	297,33	598,67
TKG [g]	16	39,39	1,24	37,49	41,49
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	6	98,30	,35	97,96	98,84
Hektolitergewicht [kg/hl]	6	53,25	2,10	51,50	56,70
Spelzanteil [%]	6	26,53	4,42	23,70	35,40
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	0	.	.	.	.
Proteingehalt [%]	0	.	.	.	.

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	4	
Feld	2	
Standort	2	schlecht

Gültige Fälle = 16; Fälle mit fehlenden Werten = 16.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	16	40,75	4,79	30,78	49,54
Bestandeshöhe [cm]	4	65,75	6,85	58,00	72,00
Rispendichte [Stk/m²]	16	301,00	53,53	194,67	406,67
TKG [g]	16	35,94	1,14	34,08	37,56
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	4	97,70	,40	97,25	98,15
Hektolitergewicht [kg/hl]	4	50,85	,90	49,80	52,00
Spelzanteil [%]	4	27,03	2,43	24,40	29,80
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	0	.	.	.	.
Proteingehalt [%]	0	.	.	.	.

Abbildung A 8: Statistiken einiger Eigenschaften von Haferproben auf Betrieb 4 im Erntejahr 2019 nach Feldern und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	6	
Feld	1	
Standort	1	gut

Gültige Fälle = 12; Fälle mit fehlenden Werten = 12.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	12	49,39	6,87	40,96	68,85
Bestandeshöhe [cm]	3	75,00	3,00	72,00	78,00
Rispendichte [Stk/m²]	12	391,30	65,42	315,56	503,33
TKG [g]	12	40,99	1,39	38,42	43,01
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	4	95,04	,20	94,83	95,23
Hektolitergewicht [kg/hl]	4	48,85	,95	48,10	50,20
Spelzanteil [%]	4	31,05	1,43	29,00	32,20
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	3	5,40	,25	5,22	5,68
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	0	.	.	.	.
Proteingehalt [%]	0	.	.	.	.

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	6	
Feld	1	
Standort	2	schlecht

Gültige Fälle = 12; Fälle mit fehlenden Werten = 12.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	12	36,60	5,11	29,61	45,80
Bestandeshöhe [cm]	3	63,33	5,77	60,00	70,00
Rispendichte [Stk/m²]	12	382,13	71,86	313,33	534,44
TKG [g]	12	35,02	2,89	29,63	38,00
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	5	89,93	3,58	85,09	93,65
Hektolitergewicht [kg/hl]	5	46,60	,71	45,50	47,40
Spelzanteil [%]	5	33,94	3,26	29,40	37,00
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	3	5,72	,17	5,56	5,90
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	0	.	.	.	.
Proteingehalt [%]	0	.	.	.	.

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	6	
Feld	2	
Standort	1	gut

Gültige Fälle = 8; Fälle mit fehlenden Werten = 8.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	8	56,70	9,06	48,64	72,89
Bestandeshöhe [cm]	2	82,00	4,24	79,00	85,00
Rispendichte [Stk/m²]	8	375,42	46,22	315,56	445,56
TKG [g]	8	42,66	1,30	40,20	44,24
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	2	94,26	,40	93,98	94,54
Hektolitergewicht [kg/hl]	2	49,20	,99	48,50	49,90
Spelzanteil [%]	2	34,05	2,05	32,60	35,50
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	2	5,15	,08	5,09	5,21
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	0	.	.	.	.
Proteingehalt [%]	0	.	.	.	.

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	6	
Feld	2	
Standort	2	schlecht

Gültige Fälle = 8; Fälle mit fehlenden Werten = 8.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	8	43,64	3,49	38,80	47,80
Bestandeshöhe [cm]	2	66,50	4,95	63,00	70,00
Rispendichte [Stk/m²]	8	355,97	43,39	301,11	420,00
TKG [g]	8	40,18	1,61	37,00	41,98
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	2	93,48	1,18	92,65	94,31
Hektolitergewicht [kg/hl]	2	46,50	,00	46,50	46,50
Spelzanteil [%]	2	33,75	,64	33,30	34,20
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	2	5,56	,14	5,46	5,66
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	0	.	.	.	.
Proteingehalt [%]	0	.	.	.	.

Abbildung A 9: Statistiken einiger Eigenschaften von Haferproben auf Betrieb 6 im Erntejahr 2019 nach Feldern und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	7	
Feld	1	
Standort	1	gut

Gültige Fälle = 12; Fälle mit fehlenden Werten = 12.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	12	38,55	7,72	29,25	57,34
Bestandeshöhe [cm]	3	73,00	13,00	58,00	81,00
Rispendichte [Stk/m²]	12	335,11	50,24	229,33	398,67
TKG [g]	12	32,13	1,71	29,23	35,09
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	5	91,50	2,05	90,04	95,08
Hektolitergewicht [kg/hl]	5	44,84	2,00	42,40	47,50
Spelzanteil [%]	5	35,54	3,04	31,80	39,60
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	2	3,80	,00	3,80	3,80
Proteingehalt [%]	2	15,85	,21	15,70	16,00

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	7	
Feld	1	
Standort	2	schlecht

Gültige Fälle = 12; Fälle mit fehlenden Werten = 12.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	12	38,19	17,78	5,12	63,49
Bestandeshöhe [cm]	3	67,33	14,15	51,00	76,00
Rispendichte [Stk/m²]	12	360,16	137,88	168,00	642,29
TKG [g]	12	31,92	4,43	25,08	37,71
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	4	88,92	8,44	76,64	94,61
Hektolitergewicht [kg/hl]	4	46,15	1,53	44,20	47,90
Spelzanteil [%]	4	35,30	3,03	32,20	38,10
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	2	3,75	,21	3,60	3,90
Proteingehalt [%]	2	16,05	,35	15,80	16,30

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	7	
Feld	2	
Standort	1	gut

Gültige Fälle = 12; Fälle mit fehlenden Werten = 12.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	12	51,28	8,23	35,24	66,71
Bestandeshöhe [cm]	3	87,67	7,09	80,00	94,00
Rispendichte [Stk/m²]	12	315,22	43,89	230,67	377,33
TKG [g]	12	33,79	1,56	31,57	36,32
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	2	95,92	1,09	95,15	96,69
Hektolitergewicht [kg/hl]	2	44,30	1,13	43,50	45,10
Spelzanteil [%]	2	33,15	1,34	32,20	34,10
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	2	3,75	,07	3,70	3,80
Proteingehalt [%]	2	14,40	,71	13,90	14,90

Variable	Wert	Beschriftung
Betrieb	7	
Feld	2	
Standort	2	schlecht

Gültige Fälle = 12; Fälle mit fehlenden Werten = 12.

Variable	N	Mittelwert	Std Abw	Minimum	Maximum
Ertrag [dt/ha]	12	33,81	9,55	16,94	44,45
Bestandeshöhe [cm]	3	72,67	9,45	62,00	80,00
Rispendichte [Stk/m²]	12	319,67	46,91	268,00	430,67
TKG [g]	12	31,33	1,82	29,26	34,99
Anteil [%] Körner > 2,00 mm	4	91,78	3,18	87,90	95,00
Hektolitergewicht [kg/hl]	4	41,20	1,83	39,00	42,90
Spelzanteil [%]	4	33,97	2,49	31,80	36,60
β-Glucan-Gehalt NIRS [%]	0	.	.	.	.
β-Glucan-Gehalt AAS [%]	2	3,70	,00	3,70	3,70
Proteingehalt [%]	2	17,05	1,20	16,20	17,90

Abbildung A 10: Statistiken einiger Eigenschaften von Haferproben auf Betrieb 1 im Erntejahr 2019 nach Feldern und an nach Biomasse gestützter Standorteinschätzung (BGSE) guten und schlechten Standorten

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Unterschrift