

# On-Farm-Research auf Gut Helmstorf



Landwirtschafts-  
kammer  
Schleswig-Holstein

© 2018

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein  
Abteilung Pflanzenbau, Pflanzenschutz, Umwelt  
Grüner Kamp 15-17, 24768 Rendsburg  
Tel.: 0 43 31/94 53-0, Fax: 0 43 31/94 53-199

Alle Rechte vorbehalten.

Vervielfältigung der Tabellen, Abbildungen, Fotos und Nutzung der Datensätze für gewerbliche Zwecke ist nur mit schriftlicher Genehmigung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein gestattet.

Ansprechpartner:  
Imke Borchardt  
Email: [iborchardt@lksh.de](mailto:iborchardt@lksh.de); Tel. 04331/94 53-331

**Abschlussbericht  
On-Farm-Research-Projekt (2007 – 2017)  
in Zusammenarbeit mit der Gutsverwaltung Helmstorf**

vorgelegt von:

Imke Borchardt (Projektleitung)

Christoph Lubkowitz

Carsten Kock

Birte Schäfer

Dr. Mathis Müller

Finanziert durch die Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein  
mit Unterstützung der Landwirtschaftlichen Rentenbank  
und der Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft.



## Gliederung:

1.	Motivation und Zielsetzung des Projektes .....	16
2.	Finanzierung des Projektes.....	17
3.	Versuchsanlage.....	18
4.	Versuchsdaten .....	23
5.	Witterung im Projektzeitraum 2008 – 2017 .....	24
6.	Ergebnisse.....	26
6.1.	GPS und Lenksysteme .....	26
6.2.	Grunddüngung.....	28
6.2.1.	Düngerstreuer.....	29
6.2.2.	Bodenartbestimmung .....	30
6.2.3.	Nährstoffuntersuchung und Düngebedarfsberechnung.....	39
6.2.4.	Düngemittel, Streukartenerstellung und Umsetzung der Grunddüngung unter praktischen Bedingungen .....	43
6.2.5.	Entwicklung der Nährstoffgehalte.....	50
6.2.6.	Entwicklung der Nährstoffversorgung .....	57
6.2.7.	Weiteres.....	62
6.3.	Bodenbearbeitung.....	69
6.3.1.	Technische Realisierung.....	70
6.3.1.1.	Mulchsaat.....	70
6.3.1.2.	Direktsaat / StripDrill.....	72
6.3.1.3.	Pflugsaat .....	75
6.3.2.	Wirtschaftlichkeitsberechnungen 2008 bis 2013 .....	75
6.3.3.	Wirtschaftlichkeitsberechnungen 2014 bis 2017 .....	79
6.4.	Teilflächenspezifische Aussaat .....	83
6.5.	N-Düngungsversuch.....	88
6.5.1.	Vorbemerkung Sensoren.....	88
6.5.2.	Düngerstreuer.....	89
6.5.3.	Bestimmung der Herbststickstoffaufnahme bei Raps.....	91
6.5.4.	Sensoren für die Stickstoffdüngung .....	92
6.5.4.1.	Betriebsgrößenabhängige Sensorkosten.....	92
6.5.4.2.	N-Bilanzverbesserung.....	93
6.5.4.3.	Yara-N-Sensor (Online).....	93
6.5.4.3.1.	Technische Realisierung .....	93
6.5.4.3.2.	Erfahrungen im praktischen Einsatz.....	95
6.5.4.3.3.	Wirtschaftlichkeitsberechnungen .....	104
6.5.4.4.	Isaria-Sensor (Map-Overlay-Verfahren) .....	108
6.5.4.4.1.	Technische Realisierung .....	108
6.5.4.4.2.	Erfahrungen im praktischen Einsatz.....	109

6.5.4.4.3.	Ertragspotenzialkarten.....	117
6.5.4.4.4.	Ertragsstabilität .....	122
6.5.4.4.5.	Wirtschaftlichkeitsberechnungen .....	127
6.5.4.4.6.	Wirtschaftlichkeitsberechnungen der N-Düngeverfahren „Betriebsüblich“ und „Zweimaldüngung“ 2013 bis 2017.....	131
6.5.4.5.	Testfahrten .....	132
7.5	Ertragserfassung.....	134
7.6	Umsetzung von Vorgabenkarten auf dem Feld .....	138
7.7	Rasterzellengröße und Interpolation .....	141
8	Bewertung aus Sicht des landwirtschaftlichen Betriebes.....	146
9	Fazit.....	151
10	Empfehlungen und Ausblick.....	153
11	Publikationen und Öffentlichkeitsarbeit.....	156

## Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1: Ertragsniveau auf dem landwirtschaftlichen Betrieb Gut Helmstorf von 2008 -2017 .....	18
Abb. 2: Projektschläge mit Flächennutzung in 2017 .....	20
Abb. 3: EM38 Karten „Achterweide“ 2008 .....	21
Abb. 4: Witterungsverlauf am Standort Futterkamp 2008 – 2017.....	25
Abb. 5: Absolute und relative Genauigkeit.....	26
Abb. 6: Bewegung der Maschine und der GNSS-Antenne.....	27
Abb. 7: Düngerstreuer Bredal.....	29
Abb. 8: Darstellung des 1 ha-Rasters mit der Kreisbeprobung der Teilflächen. Beispiel Dwerjahren 35 ha. ....	30
Abb. 9: Bodenartenverteilung über alle Teilflächen nach Bestimmungsmethode.....	31
Abb. 10: Methodenabhängige Bodenarten (links) bzw. Kaliumversorgung (rechts) der Teilflächen des „Koppelschlag“ 2012. ....	33
Abb. 11: Eine Fingerprobe kann die Bodenart verglichen mit der Schlämmanalyse über- oder unterschätzen.....	36
Abb. 12: Bodenarten nach Schlämmanalyse [T&U] im 1 und 3 ha Raster auf den Projektschlägen Dwerjahren (links) und Kortenkamp (rechts).....	37
Abb. 13: Selbst bei identischer Bodenart IS variieren die Nährstoffgehalte von Teilflächen.....	38
Abb. 14: Abhängig vom Phosphat-Bodengehalt ergibt sich ein teilflächenspezifischer Düngebedarf für jedes Fruchtfolgeglied.....	42
Abb. 15: Abhängig vom Kalium-Bodengehalt ergibt sich ein teilflächenspezifischer Düngebedarf für jedes Fruchtfolgeglied.....	42
Abb. 16: Die je Teilfläche geplante Phosphatdüngemenge setzt sich aus unterschiedlichen Phosphatquellen zusammen.....	43
Abb. 17: Technisch nicht realisierbare Teilflächenmengen von weniger als 14 kg P2O5/ha wurden auf den Streubedarf des Folgejahres übertragen. ....	45
Abb. 18: Kieserit zur teilflächigen Magnesiumversorgung bei Raps und gekoppelte bedarfsunabhängige Schwefelmengen. ....	46
Abb. 19: Teilflächendifferenzierungspotenzial bei der Kalkmenge einer 3-jährigen Ackerbaufruchtfolge nach Richtwerten .....	49
Abb. 20: Rethacker Grunddüngung im 1 ha-Raster. 2008 noch ohne (rote Linien) und ab 2012 mit kompletter Fahrgassenausrichtung (blaue Linien) des 1 ha-Rasters.....	50
Abb. 21: Phosphatbodengehalte zu Projektbeginn, zur Halbzeit und zum Projektende.....	51
Abb. 22: Kaliumbodengehalte zu Projektbeginn, zur Halbzeit und zum Projektende .....	52
Abb. 23: Magnesiumgehalte im 1 ha-Raster – eine teilflächenspezifische Magnesiumdüngung konnte nicht umgesetzt werden.....	53
Abb. 24: Magnesium-Saldo und daraus abgeleitet theoretische Bodengehaltsveränderung. ....	54
Abb. 25: CaO-Mengen über Klärschlamm.....	55
Abb. 26: Die pH-Werte aus der Bodenuntersuchung 2008, 2012 und 2017.....	56
Abb. 27: Veränderung der Gehaltsklassenanteile je Einzelnährstoff für alle Teilflächen über den 10-jährigen Projektzeitraum. ....	57
Abb. 28: Dwerjahren – Bodenarten nach digitaler Reichsbodenschätzungsmappe.....	63
Abb. 29: Flächenbezug, Bodenartbestimmung und Ausgangsbodengehalte bestimmen die Nährstoffkosten. ....	65
Abb. 30: Kosten für die Bodenprobennahme, Nährstoffanalyse, Bodenartbestimmung, Streukartenerstellung im 1 ha-Raster .....	67
Abb. 31: Varianten Bodenbearbeitung.....	70
Abb. 32: Raupe und Centaur mit automatischer Tiefenführung (Foto: Obenauf).....	71
Abb. 33: Köckerling Vector (Foto: Obenauf).....	72
Abb. 34: Drillmaschine Claydon (Foto: Obenauf).....	72
Abb. 35: Drillmaschine Väderstad Seedhawk (Foto: Borchardt).....	73
Abb. 36: Bodenbearbeitungsschlag Krutschenkamp zur Rapsblüte Mai 2013 (Foto: Obenauf) .....	74

Abb. 37: Drillmaschine Väderstad Spirit 400C (Foto: Borchardt) .....	74
Abb. 38: Wirtschaftlichkeit der Bodenbearbeitungsverfahren von 2008 bis 2013 (ausgenommen 2011). Mittel der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste/Weizen.....	76
Abb. 39: Wirtschaftlichkeit der Bodenbearbeitungsverfahren in den Jahren 2014 bis 2017. Mittel der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste/Weizen.....	80
Abb. 40: Praxisfläche im Östlichen Hügelland (nicht Helmstorf) mit unterschiedlichen Feldaufgängen....	84
Abb. 41: Umsetzung der EM38-Messung zur Aussaatkarte.....	84
Abb. 42: Aussaatkarte mit manuellem Eingriff des Fahrers .....	85
Abb. 43: Rückschrieb der Rapid A600S (6 m) .....	86
Abb. 44: Anpassung der Aussatstärke von 2008 zu 2017 .....	86
Abb. 45: Flächenanteile der Aussaatstufen .....	87
Abb. 46: Saatgutmehrkosten im Vergleich zu konstanten Aussatmengen .....	87
Abb. 47: Verteilung der Großteilstücke im N-Düngungsversuch.....	88
Abb. 48: Verzögerungen an der Dosierung aus dem Datenrückschrieb .....	89
Abb. 49: Schematischer Messverlauf einer Sprungantwort und Ergebnisse der manuellen Messung beim AGT24m.....	90
Abb. 50: Gemessene Sprungantwort beim AGT36m .....	90
Abb. 51: Einstellung der Verzögerung beim AGT36m (Foto: Lubkowitz) .....	91
Abb. 52: Yara N-Sensor auf dem Schlepperdach (Foto: Obenauf) .....	93
Abb. 53: Geometrie und Messfläche des Yara-N-Sensors.....	94
Abb. 54: Verwendung des Yara N-Testers: (links: Messen, Mitte: Sortenkorrektur; rechts: Empfehlung ablesen) (Fotos: Lubkowitz) .....	94
Abb. 55: N-Monitoring zur Sensordüngung, Hansberg 2008, WW nach WW .....	97
Abb. 56: N-Monitoring zur Einmaldüngung, Hansberg 2008, WW nach WW.....	97
Abb. 57: N-Monitoring zur Sensordüngung Hohenkamp 2010, GW nach WW.....	98
Abb. 58: N-Monitoring zur Einmaldüngung Hohenkamp 2010, GW nach WW.....	98
Abb. 59: Raureif aber auch Tau auf den Pflanzenbeständen schließt den Sensoreinsatz für die teilflächenspezifische Düngung aus. (Foto: Borchardt).....	99
Abb. 60: Schwefel-Stickstoff-Dünger in der teilflächenspezifischen N-Düngung. Praxisüblich sind 40 – 50 kg S/ha zu Raps.....	101
Abb. 61: In absoluten Systemen ist zum jeweiligen Düngungstermin eine hohe N-Ausnutzung der vorherigen N-Gaben und natürlichen N-Mineralisierung notwendig, um hohe überzogene N-Mengen und N-Salden zu vermeiden. .....	102
Abb. 62: Wirtschaftlichkeit der N-Düngungsverfahren 2008 bis 2012. Mittel aus Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste/Weizen .....	105
Abb. 63: Isaria-Sensor in der Fronthydraulik des Schleppers (Foto: Obenauf).....	108
Abb. 64: Messpunkt Isaria-Sensor (Foto: Lubkowitz) .....	109
Abb. 65: Seit 2014 wird im OFR-Projekt die Ertragspotenzialkarte ohne Vorgewende mit einem Ertragspotenzialwert je 36 m-Rasterzelle sowie mit Fahrgassenausrichtung genutzt.....	112
Abb. 66: Hainkamp – Ertragspotenzialkarte ohne Vorgewende 2015 (Ausschnitt), Ertragspotenzialwert pro 36 m-Rasterzelle in Prozent.....	113
Abb. 67: Hainkamp – Ertragspotenzialkarte 2015 (Ausschnitt). Stickstoffzuschläge und -abschläge auf die grundlegenden 194 kg N/ha bei geringer Anpassungsmenge je dt-Ertragsveränderung.....	114
Abb. 68: Hainkamp – Ertragspotenzialkarte 2015 (Ausschnitt), teilflächenspezifische Stickstoffanpassung (kg N/ha) anhand des Ertragspotenzials bei praxisüblicher Anpassungsmenge.....	114
Abb. 69: Die teilflächenspezifische Bestandsentwicklung wird im Isaria-System über den Vegetationsindex IRMI beschrieben und beispielsweise bei einem IRMI von 20,6 zu N2 in EC 30 als gering eingestuft. Die Stickstoffmenge dieser Teilfläche wird entsprechend angepasst.....	115
Abb. 70: Kortenkamp – Ertragspotenzialkarte 2014. Sensorkalibrierung läuft über eine komplette Fahrgassenlänge.....	116
Abb. 71: Einen Standard für die Ertragspotenzialkartenerstellung gibt es bisher nicht. Die aufgeführten Parameter werden hinsichtlich der Einbeziehung in die Ertragspotenzialkartenerstellung diskutiert.....	117
Abb. 72: Die Auswahl der Datenquellen beeinflusst das Düngungsergebnis von Zonen- bzw. Ertragspotenzialkarten.....	118

Abb. 73: Streuersysteme können auf unterschiedliche Ertragspotenziale links und rechts der Fahrgasse mengenmäßig nicht reagieren. Das Potenzial einer angepassten Düngung wird hier technisch bedingt verschenkt bzw. nicht realisiert.....	119
Abb. 74: Ausrichtung der Ertragspotenzialkarten.....	120
Abb. 75: Vieles im Bereich der Ertragsstabilität von Karten ist noch ungeklärt.....	123
Abb. 76: 20 %-Punkte Ertragsdifferenz einer Teilfläche führen am Standort zu einem N-Sollwertunterschied beim B-Weizen von 44 kg N/ha.....	124
Abb. 77: stabiler Hoch- und Niedrigertrag sowie dessen räumlich konzentriertes Auftreten sind für das Map-Overlay-Verfahren essenziell.....	125
Abb. 78: Wirtschaftlichkeit der N-Düngungsvarianten 2013 – 2015 (FM-Sensor = Isaria-Sensor mit Ertragspotenzialkarte). Mittel der Fruchtfolge aus Raps-Weizen-Gerste/Weizen.....	128
Abb. 79: Wirtschaftlichkeit der N-Düngevarianten „Betriebsüblich“ und „Ein-/Zweimaldüngung“ 2013 – 2017. Mittel der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste/Weizen.....	131
Abb. 80: Volumetrische Ertragserfassung (geändert nach Diekhans).....	135
Abb. 81: Mögliche Fehler bei der Ertragserfassung (geändert nach Gebbers 2014).....	135
Abb. 82: Mögliche räumliche Verteilung von Fehlern bei der Ertragserfassung (Gebbers, 2014).....	136
Abb. 83: Filtern von Ertragsrohwerten (rote Punkte werden herausgefiltert).....	137
Abb. 84: Vorgabe und Umsetzung von Vorgabekarten.....	138
Abb. 85: unausgerichtete und ausgerichtete Raster.....	139
Abb. 86: Übergänge an Rastergrenzen .....	139
Abb. 87: a) Vorgabe und b) Umsetzung der Düngermengen bei 10 s Verzögerung.....	140
Abb. 88: Vergleich konstante Mengen zu variablen Mengen beim Streuen.....	140
Abb. 89: 3D-Darstellung der Streuverteilung (Quelle RAUCH).....	141
Abb. 90: Ableitung eines Teilflächenrasters aus einzelnen Messwerten .....	142
Abb. 91: Einfluss des Interpolationsrasters auf die Darstellung von Karten.....	143
Abb. 92: Einfluss der Klassenbildung auf die Darstellung von Karten.....	144

## **Tabellenverzeichnis:**

Tab. 1: Finanzierung (Netto-Angaben) des OFR Projektes während der Projektlaufzeit 2007-2017 .....	17
Tab. 2: Eingesetzte Technik.....	19
Tab. 3: Flächennutzung für die einzelnen Projektflächen 2007-2017 (farbig unterlegte Zellen = keine Versuchsparzellen) .....	22
Tab. 4: Lenksystemtypen.....	27
Tab. 5: Bodenarteneinteilung nach VDLUFA und Geologischer Dienst NRW (verändert).....	32
Tab. 6: Die Bodenartbestimmung beeinflusst den Düngungsbedarf und die Nährstoffkosten.....	34
Tab. 7: Nährstoffkostendifferenz sowie Schlämmanalysenkosten in Abhängigkeit von der Bodenartbestimmung und -ableitung.....	34
Tab. 8: Düngungsbedarf und Nährstoffkosten paralleler Fingerproben im Vergleich zur Schlämmanalyse.....	36
Tab. 9: Düngungsbedarfsplanung nach unterschiedlichen Ansätzen für eine teilflächenspezifische Grunddüngung im 1 ha-Raster.....	40
Tab. 10: Jährliche und fruchtartbezogene konstante Schwefelmengen über Kieserit decken in 3 Jahren parallel einen Bedarf von 119 kg MgO/ha ab.....	47
Tab. 11: Eine anteilige Magnesiumdeckung über Kalk reduziert ggf. die Magnesiumkosten im Vergleich zur kompletten Düngung über Kieserit.....	48
Tab. 12: Phosphat bis zuletzt ohne nennenswertes Nährstoff-Umverteilungspotenzial.....	58
Tab. 13: Umverteilungspotenzial bei Kalium abhängig vom Ausgangsbodengehalt .....	60
Tab. 14: Umverteilung von Kalkmengen durch teilflächiges Düngen .....	62
Tab. 15: Reichsbodenschätzung – Ackerschätzungsrahmen Auszug Bodenart sL.....	63
Tab. 16: Dwerjahren - deutliche Bodenunterschiede zwischen Bodenartbestimmung nach Schlämmanalyse [Ton&Schluff] bzw. nach Reichsbodenschätzung .....	64
Tab. 17: Korngrößenfraktionen für die Bestimmung der Bodenart nach Reichsbodenschätzung bzw. nach Schlämmanalyse [Ton und Schluff]; Quelle: Nestroy et Ulonska 2012, verändert.....	64
Tab. 18: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Raps von 2008-2013 (ausgenommen Ernte 2011, 2012). .....	77
Tab. 19: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Rapsweizen von 2008-2013 (ausgenommen Ernte 2008, 2011). .....	77
Tab. 20: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Stoppelweizen von 2008-2013 (ausgenommen Ernte 2011, 2013). .....	78
Tab. 21: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit in der Gerste von 2008-2013 (ausgenommen Ernte 2008, 2011, 2012).....	79
Tab. 22: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Raps von 2014-2017 (ausgenommen Ernte 2016). .....	81
Tab. 23: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Rapsweizen von 2014-2017 (zur Ernte 2015 kein Weizen). .....	81
Tab. 24: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Stoppelweizen von 2014-2016 (zur Ernte 2017 kein Stoppelweizen).....	82
Tab. 25: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit in der Gerste von 2014-2017 (zur Ernte 2016 keine Gerste).....	82
Tab. 26: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit in der Gerste von 2015 (Virusbefall)....	83
Tab. 27: Sensorkosten bei unterschiedlichen Betriebsgrößen .....	92
Tab. 28: Ergebnisse der N-Düngung auf Hansberg 2008, WW nach WW .....	98
Tab. 29: Ergebnisse der Stickstoffdüngung auf Hohenkamp 2010, GW nach WW.....	99
Tab. 30: mittlere N-Bilanzüberschüsse der Stickstoffdüngungsverfahren 2008 bis 2012.....	104
Tab. 31: Einfluss der N-Düngungsverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Raps von 2008-2012 (ausgenommen der Ernte 2008, 2011) .....	106
Tab. 32: Einfluss der N-Düngungsverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Rapsweizen von 2008-2012.	106
Tab. 33: Einfluss der N-Düngungsverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Stoppelweizen von 2008-2012 .....	107

Tab. 34: Einfluss der N-Düngungsverfahren auf die Wirtschaftlichkeit in der Gerste von 2008-2012 (ausgenommen 2011).....	107
Tab. 35: Übelsberg – Ertragsklassen der Ertragspotenzialkarte 2014 sowie N-Abstufung bei StWW.....	121
Tab. 36: mittlere N-Bilanzüberschüsse der Stickstoffdüngungsverfahren 2013 bis 2015.....	127
Tab. 37: Einfluss der N-Düngeverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Raps von 2013-2015 .....	129
Tab. 38: Einfluss der N-Düngeverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Rapsweizen von 2013-2015 .....	129
Tab. 39: Einfluss der N-Düngeverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Stoppelweizen von 2013-2015 (zur Ernte 2015 kein Stoppelweizen).....	130
Tab. 40: Einfluss der N-Düngeverfahren auf die Wirtschaftlichkeit in der Gerste von 2013-2015. ....	130
Tab. 41: Einfluss der betriebsüblichen sowie Ein-/Zweimaldüngung auf die Wirtschaftlichkeit im Stoppelweizen von 2013-2017 (zur Ernte 2015 kein Stoppelweizen).....	132
Tab. 42: Systematische Testfahrten mit dem Isaria-Sensor im Winterweizen.....	134
Tab. 43: verwendete Rasterzellengrößen im Projekt.....	145
Tab. 44: Besucherzahlen 2009-2017 im On-Farm-Research-Projekt auf Gut Helmstorf .....	157

## Abkürzungen:

AELK	Arbeitserledigungskosten
ASK	Ackerschlagkartei
BAG	Bodenartengruppe
BB	Versuch Bodenbearbeitung
Bodenart nach T&U	Schlämmanalyse plus Bodenartableitung nach Ton & Schluff
BU	Bodenuntersuchung
BÜ	Betriebsüblich
DAL	Direkt- und Arbeitskostenfreie Leistung, Marktleistung – Arbeitserledigungskosten – Direktkosten
DAP	Diammonphosphat
DG	Versuch Düngung
ED	Einmaldüngung
ED nach EPK	Einmaldüngung nach Ertragspotenzialkarte
EPK	Ertragspotenzialkarte
Fa.	Firma
FM-Sensor	Isaria-Sensor der Fa. Fritzmeier
FP	Fingerprobe
GHK	Gehaltsklasse
GNSS	Global Navigation Satellite System
GW	Wintergerste
IBI	Isaria Biomasseindex
IRMI	Isaria REIP Messindex
I'S	anlehmiger Sand
IS	lehmiger Sand
OFR-Projekt	On Farm Research- Projekt Helmstorf
RAS	Sommerraps
RAW	Winterraps
RBS	Reichsbodenschätzung
RiW DG SH, Richtwerte	Richtwerte für die Düngung Schleswig-Holstein 2013, siehe Glossar
RP i. d. TS	Rohproteingehalt in der Trockensubstanz in Prozent
S	Sand
SD	Sensordüngung
sL	sandiger Lehm
SN-Wert	aufgenommener Stickstoff im Bestand
StWW	Stoppelweizen (Weizen nach Weizen)
SWW	Stoppelweizen (Weizen nach Weizen)
T&U	Schlämmanalyse mit Bodenartableitung nach Ton & Schluff
t'L	toniger Lehm
TIW	Wintertriticale
TKG	Tausendkorngewicht
TSP	Triplesuperphosphat
WS	Sommerweizen
WSB	Wurzelschutzbeizung
WW	Winterweizen
ZD	Zweimaldüngung
ZD nach EPK	Zweimaldüngung nach EPK

## Glossar:

### Serielle Schnittstelle RS-232:

Kommunikationsanschluss für die Datenübertragung zwischen zwei Geräten. Diese Schnittstellen werden von Programmen über Nummern angesprochen, z. B.: COM1. Diese Nummer muss eindeutig sein und wird beim Start eines Computers vergeben. Programme können diese Nummer nicht selbsttätig finden. Verschiebt sich diese Zuordnung, schlägt die Kommunikation häufig fehl oder führt zu ungewollten Ergebnissen.

Bsp.: GNSS an COM1, Sensor an COM2, Streuterminan COM3

### Egnos:

Satellitenbasiertes kostenloses Korrektursignal zur Verbesserung der Positionsbestimmung in GNSS

### Glonass:

Satellitensystem der Russischen Föderation zur Positionsbestimmung

### Richtwerte:

Richtwerte für die Düngung 2013, 23. Auflage,

Richtwerte für die Düngung richten sich an die gesamte landwirtschaftliche Praxis in Schleswig-Holstein und umfassen die Empfehlungen zur Optimierung der Stickstoffdüngung und der Grunddüngung. Sie orientiert sich an den Vorgaben der Düngeverordnung und soll ein Gleichgewicht zwischen Nährstoffbedarf und Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen schaffen. Ziele sind die Sicherung und die Optimierung von Bodenfruchtbarkeit, von Erträgen und von Qualitäten, von Gewässer- und Bodenschutz und vom Klimaschutz.

### Gehaltsklassen:

Sie beziehen sich auf die Grunddüngung der Hauptnährstoffe sowie auf die Mikronährstoffe.

Die Gehaltsklassen geben den absoluten Gehalt an löslichen und mittelfristig pflanzenverfügbaren Nährstoffen an. Mit ihnen verbunden sind Empfehlungen zum Düngebedarf, die den Kornertrag und die Bodengehalte bzw. die monetären Erträge und die Nährstoffausgaben beeinflussen.

Als optimal versorgt bzw. anzustrebende Gehaltsklasse ist die Gehaltsklasse C definiert. Bei ihr wird eine Erhaltungsdüngung zur Erhaltung der Bodengehalte sowie zum Erhalt des Ertragsoptimums empfohlen. Alle anderen Gehaltsklassen beziehen sich hinsichtlich Ausgangsbodenrehalt, Düngebedarf, Ertragseinfluss und Folgebodenrehalt auf die Gehaltsklasse C.

- Gehaltsklasse A: Bodengehalt sehr niedrig, Düngebedarf erhöht, hoher Mehrertrag, Bodengehalt steigt deutlich an.
- Gehaltsklasse B: Bodengehalt niedrig, Düngebedarf leicht erhöht, mittlerer Mehrertrag, Bodengehalt steigt an.
- Gehaltsklasse C: Bodengehalt mittel bzw. optimal, Abfuhrdüngung, geringer Mehrertrag, Bodengehalt bleibt erhalten.
- Gehaltsklasse D: Bodengehalt hoch, Düngebedarf verringerte, Mehrertrag meist nur bei Blattfrüchten, Bodengehalt nimmt langsam ab.
- Gehaltsklasse E: Bodengehalt sehr hoch, Düngebedarf nicht vorhanden, keine Ertragswirkung, Bodengehalt nimmt langsam ab.

Die Definitionen beziehen sich auf die während der Projektzeit geltenden Definitionen und grundsätzlichen Empfehlungen. Die Grenzwerte je Bodennährstoff und Gehaltsklasse sowie zum konkreten Düngebedarf orientieren sich im OFR-Projekt an den geltenden „Richtwerte für die Düngung Schleswig-Holstein 2013“.

Mit dem VDLUFA-Standpunkt „Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf“ aus 3-2018 wurden bei den Phosphat-Gehaltsklassen u. a. eine anteilige Modifikation bei den beschreibenden Düngerempfehlungen und deren Auswirkungen auf den Körnertrag vorgenommen.

## Vorwort

Mit diesem Projekt ist die Bewertung innovativer Techniken im Ackerbau erleichtert worden und es werden neue Impulse für die Weiterentwicklung der Digitalisierung in der Landwirtschaft gegeben. Viel Spaß bei der Lektüre unseres Abschlussberichtes.

Die Digitalisierung steht aktuell in vielen Bereichen im Mittelpunkt der zukünftigen Entwicklungen. Auch in der Landwirtschaft wird seit Jahren über die Chancen und Risiken einer fortschreitenden Digitalisierung unter dem Begriff „Landwirtschaft 4.0“ diskutiert. Insbesondere von der Politik wird in der Digitalisierung der Schlüssel zur Lösung zukünftiger Herausforderungen gerade auch in der Landwirtschaft gesehen. Digitale Lösungen werden in fast allen Bereichen der landwirtschaftlichen Erzeugung angeboten. Auf Fachmessen und -ausstellungen werden oft überwältigende wirtschaftliche Vorteile der neusten technischen Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung angepriesen. Für die einzelnen Landwirte ist diese Fülle der Angebote kaum zu erfassen, geschweige denn zu beurteilen. Sicherlich sollten alle Möglichkeiten für eine gleichzeitig ressourceneffiziente und nachhaltige Landwirtschaft realisiert werden. Aber leisten die angebotenen Techniken tatsächlich schon so viel, wie angekündigt? Sind die wirtschaftlichen Vorteile schon so groß wie vorgerechnet? Können die Umwelteffekte durch Landwirtschaft mithilfe der Digitalisierung beeinflusst werden? Diese und ähnliche Fragen wurden schon vor 10 Jahren intensiv zwischen Praktikern, Beratern und Wissenschaftlern diskutiert. Um eine systematische und praxisorientiert fundierte Erprobung bzw. Bewertung der angebotenen Techniken im Bereich „Precision-Farming“ durchführen zu können, hat die Landwirtschaftskammer ein mittlerweile weit über die Grenzen von Schleswig-Holstein hinaus bekannt gewordenes Großflächenprojekt gestartet. Hierbei ist nicht nur die erprobte Technik innovativ, sondern auch der im Projekt als „On-Farm-Experiment“ realisierte Forschungsansatz. Dies wäre ohne die großzügige Unterstützung der Gutsverwaltung Helmstorf kaum möglich gewesen. Mein ganz besonderer Dank gilt deshalb der Familie von Buchwaldt, die sich nicht nur als Projektbetrieb und Partner zur Verfügung gestellt hat, sondern die Realisierung des Projektes an vielen Stellen entscheidend mitgetragen hat. Carsten Kock als Verwalter und der gesamten Belegschaft des Betriebes gilt ebenfalls mein ausdrücklicher Dank, denn ihr Interesse, ihre Erfahrungen und Engagement haben das Projekt entscheidend geprägt und weiterbewegt. Als Initiator und treibende Kraft für das Projekt und langjährigen Mitarbeiter der Landwirtschaftskammer danke ich Dr. Ulfried Obenauf für sein Engagement, seine fachlichen Impulse und seinen unermüdlichen Einsatz für das Projekt. Dem Projektteam aus Imke Borchardt, Christoph Lubkowitz und Birte Schäfer gilt außerdem mein besonderer Dank für die Begleitung, Aufarbeitung, Interpretation und Präsentation der gewonnenen Daten und Erkenntnisse.



Claus Heller  
Präsident der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein

## Grußwort des Betriebsinhabers

Für einen alten Gutshof wie den unserer Familie in Helmstorf hat das 20. Jahrhundert gewaltige Umwälzungen mit sich gebracht: Schon früh wurden die Dörfer der Gutsherrschaft entzogen. Weitere Außenstellen des Gutsbetriebs wurden nach dem 1. Weltkrieg aufgesiedelt und an Flüchtlingsfamilien aus dem Osten vergeben. Nach dem 2. Weltkrieg folgte eine große Flüchtlingswelle aus den Ostgebieten. Der Grundbesitzerverband einigte sich mit der Politik, auf freiwilliger Basis 30.000 Hektar für die Flüchtlinge zur Verfügung zu stellen, um eine Bodenreform zu vermeiden. Der Helmstorfer Betrieb hat damals rund 500 Hektar an Acker- und Grünland verloren.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts waren die Ereignisse weniger einschneidend aber ähnlich prägend für den Betrieb. In den 70er Jahren wurde die Viehwirtschaft aufgegeben. Ende der 80er Jahre folgten in vier Jahren zwei Generationswechsel von einem echten Gutsherren, der sich wenig um die betrieblichen Belange kümmerte, über einen studierten Landwirt, der selber mit ackerte, bis hin zu einem jungen Erben, welcher den Betrieb über einen professionellen Verwalter führte; den Familienunterhalt aber aus eigenem Einkommen bestreiten wollte.

Als im Jahre 2006 Herr Dr. Ulfried Obenauf in erste Gespräche mit uns über das Projekt „On Farm Research“ eintrat, waren wir stolz, überhaupt als Projektbetrieb in die Auswahl zu kommen. Sehr schnell kamen aber Bedenken auf, was die Finanzierung und Nachhaltigkeit des Projektes einerseits und den bei uns durch das Projekt entstehenden Mehraufwand andererseits betraf. Letztlich haben wir den zukunftsweisenden Sinn dieses bundesweit einmaligen Projektes verstanden, alle Bedenken über den bei uns anstehenden Aufwand zur Seite geschoben und im Frühjahr 2007 einen entsprechenden Vertrag mit der Landwirtschaftskammer gezeichnet.

Was haben uns nun die 10 Jahre des Projektes „On Farm Research“ gebracht?

Sicherlich eine Menge Arbeit, zuvörderst bei unserem Verwalter, Herrn Karsten Kock, aber auch in unserer gesamten Mannschaft. Wenn Herr Kock, Jürgen Fischer und Thomas Schwien nicht Sinn und Zweck dieses Großprojektes zu jeder Jahreszeit mitgetragen hätten, wäre es nicht durchführbar gewesen. Wir haben aber auch die Begeisterung seitens der Kammermitarbeiter gespürt. Ulfried Obenauf, Imke Borchardt und Christoph Lubkowitz haben sich Tag und Nacht hundertprozentig für das Projekt eingesetzt und sich nach besten Kräften in unsere Helmstorfer Betriebsabläufe integriert.

Sind wir nun selber dadurch wettbewerbsfähiger geworden?

Jedenfalls sind wir schlauer geworden. In den Themen GPS-Steuerung, Sensor-Düngung und Aussaat-Varianten haben wir in unzähligen Details lernen und verstehen können, was moderne Technik leisten kann und was nicht. Nur Praxisversuche im Betrieb können dies vermitteln.

Von daher sind auch wir der Landwirtschaftskammer unendlich dankbar, dass sie dieses Großprojekt organisiert und finanziert hat. Die Kammer hat damit ein Zeichen gesetzt, die Zukunftsfähigkeit des Marktfruchtbauß unserer Region aktiv mitgestalten zu wollen. Sie hatte eben rechtzeitig erkannt, welch große Bedeutung das Thema „Ressourcen“ im 21. Jahrhundert haben wird. Das war äußerst klug vorausgedacht.

Das grüne Landesministerium hat in den 10 Jahren keinerlei Interesse an diesem wegweisenden Ackerbauprojekt gezeigt. Einzig der für Digitalisierung zuständige Staatssekretär, Herr Losse-Müller, hat die Bedeutung erkannt und dem Projekt einen ausführlichen Besuch abgestattet.

Was wird uns die Zukunft bringen?

Eine Projektfortführung im ursprünglichen Sinne wird es nach meiner Kenntnis nicht geben. Dafür sind die Finanzmittel der Kammer zu knapp. Aber die technische Entwicklung wird in rasantem Tempo weitergehen. Unsere Politik muss erkennen, dass Schleswig-Holstein als weltweit führender Ackerbau-

Standort durch die kommende Digitalisierung eine einmalige Chance hat, sich beim Thema der Ressourcenschonung zu profilieren. Nur dann wird auch die Landwirtschaftskammer für die Zukunft die richtigen Weichen stellen können.

Als alter Gutsbetrieb sind wir jedenfalls dankbar, mit der Teilhabe an diesem Projekt einen kleinen Beitrag zur Zukunftsfähigkeit der schleswig-holsteinischen Landwirtschaft geleistet zu haben.



v. Buchwaldt

Dezember 2017

## 1. Motivation und Zielsetzung des Projektes

Für die Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein ist es gleichzeitig Herausforderung und Ansporn, für die landwirtschaftliche Praxis innovative Beratungskonzepte bereitzustellen zu können. Neben den klassischen pflanzenbaulichen Fragestellungen, die mit Hilfe von Exaktversuchen auf Kleinparzellen bearbeitet werden können, werden zunehmend auch Bewertungen von komplexen Anbausystemen aus der Praxis nachgefragt. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden und gleichzeitig einen hohen Praxisbezug zu gewährleisten, ist der sogenannte „On-Farm-Research“ Ansatz entwickelt worden.

In seiner Sitzung am 22. Februar 2006 hat der Vorstand der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein dem Projektantrag „Marktfruchtbau der Zukunft – On-Farm-Research – Großflächige Versuche im Marktfruchtbetrieb“ für einen Projektzeitraum von Juli 2007 bis Juni 2017 zugestimmt. Mit diesem Projekt sollen zukunftsfähige Verfahren für den modernen Ackerbau erprobt und Entscheidungshilfen für Investitionsentscheidungen gegeben werden. In Abgrenzung zu Exaktversuchen auf Kleinparzellen sollen innovative Verfahren des Ackerbaus im Praxisbetrieb auf Großflächen bewertet werden. Ursprünglich hatte das Projekt folgende Zielsetzungen:

- Erprobung von intelligenter Technik zur Reduzierung des Betriebsmitteleinsatzes, zur Reduzierung der Arbeitserledigungskosten und zur Verbesserung der Produktionsverfahren.
- Erprobung und Umsetzung teilstoffspezifischer, GPS-gestützter Bewirtschaftungsverfahren auf den Gebieten der Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz.
- Erprobung moderner, ökonomisch tragfähiger teilstoffspezifischer Düngungsstrategien mit dem Ziel der Ertragsoptimierung.
- Betriebswirtschaftliche Bewertung der Produktionsverfahren und Umsetzung im landwirtschaftlichen Praxisbetrieb.
- Betriebsbeispiel mit regionalem und überregionalem Vorbild- und Demonstrationscharakter, Einbindung in Lehre und Forschung.
- Öffentlichkeitsarbeit mittels Projektdemos und Führungen auf dem Projektbetrieb, Fachartikel, Fachvorträge und Internetauftritt.

Als Projektbetrieb wurde das Gut Helmstorf im östlichen Hügelland gewonnen. Auf diesem für das östliche Hügelland typischen Marktfruchtbetrieb wurden rund 300 ha für die Durchführung des Projektes zur Verfügung gestellt.

Im Verlauf des Projektes wurden die Fragestellungen und Zielsetzungen laufend an den aktuellen Kenntnisstand und die neusten technischen Entwicklungen angepasst.

## 2. Finanzierung des Projektes

Für die Finanzierung des Projektes wurden am 22. Februar 2006 vom Vorstand der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein für den Zeitraum 2007 bis 2017 jährlich 95.000 € und einmalig 40.000 € für Investitionen aus eigenen Mitteln bereit gestellt. Die Anschaffung des Yara-N-Sensors in Höhe von 48.195 € wurde von der Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft finanziert. Außerdem stellte die Landwirtschaftliche Rentenbank jährlich bis einschließlich 2015 5.000 € und 2018 abschließend 8.950 € für die Durchführung des Projektes zur Verfügung. Die Firmen Väderstad und Fritzmeier stellten Maschinen leihweise für Versuche zur Verfügung.

Die Komplexität der Fragestellungen zum Precision Farming war tief greifender, als es vermutet und letztlich von den Technikanbietern angepriesen wurde. Zahlreiche Fragestellungen und Probleme ergaben sich erst aus der Projektarbeit. Die ursprünglich über 10 Jahre mit 990.000 € kalkulierten Kosten wurden somit bis zum Projektende um 1.003.324 € (Stand bis 31.12.2017 ohne Berücksichtigung der Erstellung des Abschlussberichtes bis Mai 2018) überstiegen. Dies betrifft insbesondere die Personalkosten, da die Projektdimension nicht von einer ursprünglich veranschlagten Personalstelle von 1 AK zu bearbeiten war. Die Kostenentwicklung des Projektes ist in der Tab. 1 dargestellt. Die Gesamtkosten des Projektes belaufen sich auf 2.101.470 € (Stand bis 31.12.2017 ohne Berücksichtigung der Erstellung des Abschlussberichtes bis Mai 2018). Abzüglich oben genannter Förderbeträge und sonstiger Erlöse über den Projektzeitraum in Höhe von 108.146 € ergibt sich eine Nettoinvestition von 1.993.324 € seitens der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein aus Eigenmitteln.

Tab. 1: Finanzierung (Netto-Angaben) des OFR Projektes während der Projektlaufzeit 2007-2017

	2007	2008	2009	2010
Sachkosten	6.315	84.030	47.189	59.953
Investitionen	43.145	21.556	1.897	2.170
Personalkosten	55.951	104.661	123.059	129.104
Gesamtkosten	105.411	210.247	172.145	191.227
Erträge	5.003	53.526	5.272	5.000
Nettofinanzierung	100.408	156.721	166.873	186.227

	2011	2012	2013	2014
Sachkosten	39.119	56.915	46.391	54.880
Investitionen	2.297	0	165	1.599
Personalkosten	131.957	138.406	141.616	152.145
Gesamtkosten	173.373	195.321	188.172	208.624
Erträge	5.000	5.310	5.027	11.918
Nettofinanzierung	168.373	190.011	183.145	196.706

	2015	2016	2017	2007-2017
Sachkosten	44.482	41.576	48.551	529.401
Investitionen	0	765	7	73601
Personalkosten	159.349	173.632	188.586	1.498.466
Gesamtkosten	203.831	215.973	237.144	2.101.468
Erträge	7.975	1.288	2.826	108.145
Nettofinanzierung	195.856	214.685	234.318	1.993.323

### 3. Versuchsanlage

Der Projektbetrieb Gut Helmstorf befindet sich im Naturraum östliches Hügelland. Die Region mit ihrem ausgeprägten Relief wird durch zahlreiche Grund- und Endmoränen geprägt. Dieser Naturraum zieht sich entlang der Ostseeküste von der Flensburger Förde bis nach Lübeck. Als Leitbodenotyp dominieren in dieser Landschaft pseudovergleyte Parabraunerden, die auf den Kuppen in Folge der ackerbaulichen Nutzung oft erodiert sind, sodass sich am Unterhang Kolluviale entwickeln konnten. In den Senken befinden sich oft Niedermoore und Gleye. Die kleinräumig heterogenen Bodenbeschaffenheiten sind typische Herausforderungen für den ostholsteinischen Ackerbau. Dennoch profitiert die Region und damit auch das ca. 40 km östlich von Kiel gelegene Gut Helmstorf von dem milden Ostseeklima. Im Durchschnitt der letzten zehn Jahre fiel eine Jahresniederschlagsmenge vom 752 mm, die sich gleichmäßig über das Jahr verteilt. In einigen Jahren kommt es zu Frühsomertrockenheit. Die mittlere Durchschnittstemperatur beträgt am Standort 8,3° C.

Der Gutsbetrieb wird seit vielen Jahrzehnten von der Familie von Buchwald geführt. Neben dem Betriebsverwalter Herrn Carsten Kock sind derzeit auf dem landwirtschaftlichen Betrieb noch zwei weitere Fachkräfte und ein/e Auszubildende(r) angestellt. Zur Ernte und Bestellung sind zusätzlich Saisonkräfte beschäftigt. Gewirtschaftet wird auf ca. 1.400 ha, wovon ca. 1.000 ha ackerbaulich genutzt werden. Die restliche Fläche entfällt auf Grünland und Waldflächen. Die Böden mit einer Ackerzahl von 20 bis 55 Bodenpunkten (52 Bodenpunkte im Durchschnitt aller Schläge) gehören hauptsächlich der Bodenart lehmiger Sand an. In der Regel werden die Flächen in Fruchtfolge aus Winterraps, Winterweizen, Winterweizen/Wintergerste bestellt. Das durchschnittliche Ertragsniveau des Betriebs Gut Helmstorf ist in der Abb. 1 dargestellt.

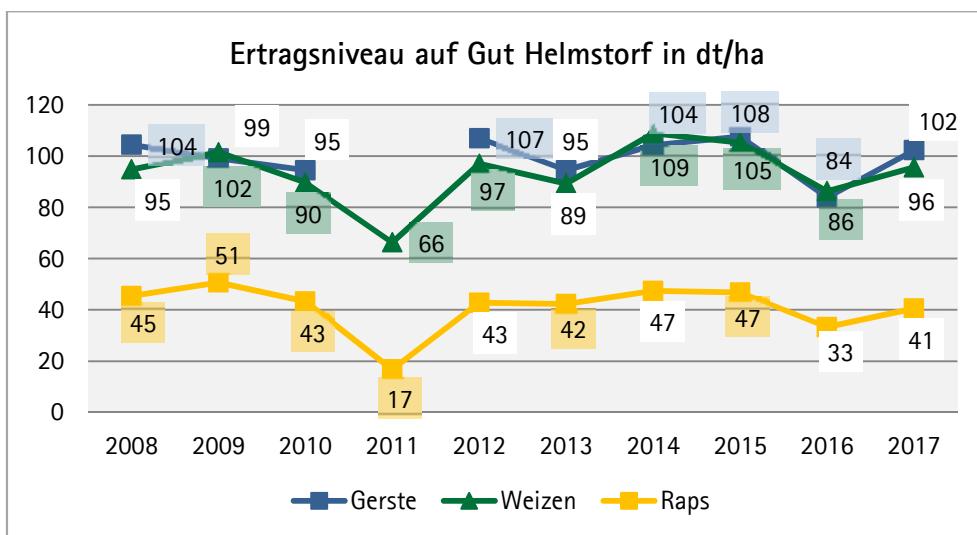


Abb. 1: Ertragsniveau auf dem landwirtschaftlichen Betrieb Gut Helmstorf von 2008 –2017

Der landwirtschaftliche Betrieb Gut Helmstorf setzt seit vielen Jahren auf moderne Landtechnik. Mit dem betriebseigenen Ziel und der Motivation, weitreichende praktische Erfahrung auf dem Gebiet Precision Farming zu sammeln und aufgrund einer guten Flächen- und Maschinenausstattung, boten sich für das Projekt On-Farm-Research auf Gut Helmstorf sehr gute Bedingungen.

Für das On-Farm-Research-Projekt wurden Maschinen aus dem bestehenden Maschinenpark vom Projektbetrieb genutzt. Ein Teil der Maschinen musste für die Versuche umgerüstet werden. Zusätzliche Technik wurde zum Teil von den Landtechnikherstellern kostenneutral zur Verfügung gestellt oder wurde für die Versuche ausgeliehen. Die folgende Tab. 2 soll einen Überblick über die verwendete und getestete Technik im Projektzeitraum geben.

**Tab. 2: Eingesetzte Technik**

Maschine	
Aktiver N – Sensor incl. PF-Box	
N-Sensor Fritzmeier Isaria	geliehen
Drillmaschine Claydon	gemietet
Drillmaschine Väderstad Rapid	
Drillmaschine Väderstad Seedhawk	geliehen
Drillmaschine Väderstad Spirit	geliehen
Trimble RTK Station	
Trimble Geokombi RTK-Station	
Trimble Lenkhilfe mit Reibradantrieb	
Lenksystem Hemisphere auf dem Mähdrescher	
Laserpiloten an den Schneidwerken beim Mähdrusch	
Trimble Autopilot mit, FMD-Display	
Lenksystem auf Fendt 930 mit Autopilot Topcon	
Lenksystem auf Raupenschlepper JD mit Trimble Autopilot und FMX-Display	
Exaktstreuer Rauch AGT36m	
Großflächenstreuer Bredal K 105	
Quantimeter + Ertragskartierung beim Mähdrusch	
Software Agronet	
Software SSToolBox	
Software Fieldrover/Sitemate	

### Versuchsvarianten

Im Projekt wurden im Zeitraum 2008 bis 2017 verschiedene Versuche auf insgesamt 14 Schlägen mit einem Flächenumfang von ca. 300 ha angelegt. Grundsätzlich zu unterscheiden sind 2 Versuchsfragen:

#### 1) Bodenbearbeitung:

- Pflugsaat: Grundbodenbearbeitung mit Pflug nach ein bis zwei flachen Stoppelbearbeitungen und anschließender Aussaat mit einer Rapid Drillmaschine (Fa. Väderstad) in Gerste, Stoppelweizen und Raps. Weizen nach Raps wird in Mulchsaat erstellt. Das Verfahren ist in der Praxis etabliert. Die bodenstrukturbedingte Vorfruchtwirkung von Raps wird zur Kostenreduzierung genutzt. Diese Variante wird bei allen Vergleichen als Basis genommen.
- Direktsaat bzw. StripDrill: keine Grundbodenbearbeitung und (keine) Stoppelbearbeitung. Aussaat mit Claydon und Seedhawk-Direktdrillmaschine (Fa. Väderstad). Ab 2014 keine Grundbodenbearbeitung aber zweimalige flache Stoppelbearbeitung. Aussaat mit einer Spirit-StripDrill-Maschine mit Unterfußdüngung (Fa. Väderstad).
- Mulchsaat: Grundbodenbearbeitung mit Grubber nach flacher Stoppelbearbeitung und anschließender Aussaat mit einer Rapid Drillmaschine (Fa. Väderstad).

#### 2) N-Düngung

- Betriebsüblich: Die N-Düngung wurde entsprechend langjährigen Erfahrungen des Betriebsleiters unter Einbeziehung der Richtwerte für die Düngung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein sowie der jeweilig aktuellen Bestandsentwicklung und dem N-Wert durchgeführt. Zusätzlich wurden die N-Düngemengen den Ansprüchen dem jeweiligen Großteilstück vom Fahrer während der Maßnahme von Hand „per Knopfdruck“ angepasst. Dieses Verfahren wurde auf Gut Helmstorf schon vor Projektbeginn durchgeführt. Eine konstante Düngergabe, wie in anderen Vergleichen üblich, würde einen Rückschritt hinter das bestehende betriebsübliche Vorgehen bedeuten. Diese Variante wird bei allen Vergleichen als Basis genommen.

- Einmal- bzw. Zweimaldüngung: Zu Vegetationsbeginn wurde die gesamte N-Düngung entsprechend der Vorfrucht und dem Nmin-Wert mit einem stabilisierten N-Dünger in einer Gabe ausgebracht.  
Ab 2011 wurde die Gabe geteilt und die Ährengabe separat und mit Harnstoff durchgeführt. Seit 2013 wird die Stickstoffverteilung durch eine Ertragspotenzialkarte gesteuert.
- Sensordüngung: Die N-Düngung wurde von 2008 bis 2012 teilflächenspezifisch mit Hilfe eines online N-Sensors (Fa. Yara) und ab 2013 mit einem kombinierten online N-Sensor (Fa. Fritzmeier), der mit dem so genannten Map-Overlay-Verfahren arbeitet, durchgeführt.

Neben diesen im Vordergrund stehenden Versuchen wurden Praxiserprobungen mit Parallelfahrssystemen, teilflächenspezifischer Aussaat und teilflächenspezifischer Grunddüngung auf den Projektflächen durchgeführt.

### Projektflächen

Die Projektflächen sind in der folgenden Karte (Abb. 2) mit der für 2017 realisierten Flächennutzung dargestellt.

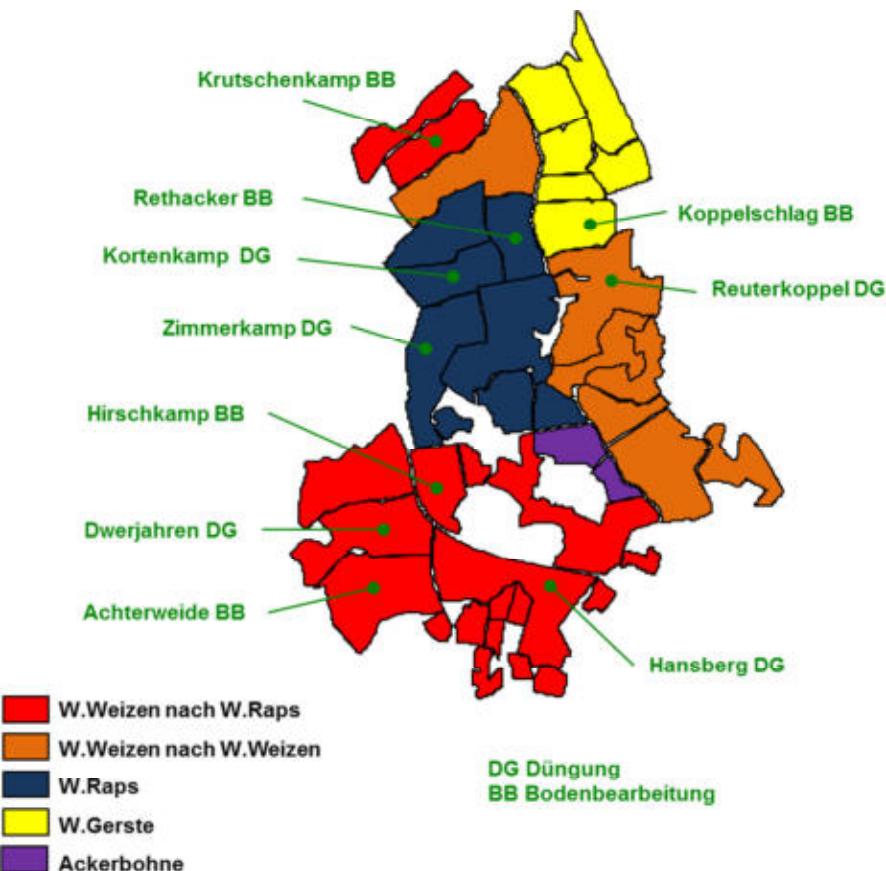


Abb. 2: Projektschläge mit Flächennutzung in 2017

### On-Farm-Experiment

Das Projekt wurde als sogenanntes On-Farm-Experiment (OFE) durchgeführt. Mit diesem Ansatz ist es möglich, Anbauverfahren (u. a. Bodenbearbeitungssysteme, Düngungsverfahren) unter Praxisbedingungen auf Großflächen zu vergleichen. Beim OFE werden Wiederholungen i. d. Regeln über Schläge und Jahre generiert. Über Zonen mit gleichen Bedingungen (z. B. Bodeneigenschaften) werden Teilflächen gebildet. Die gewählten Varianten haben sich in vorgelagerten exakten Kleinparzellenversuchen bewährt. Dieses Vorgehen dient nicht dem Ersatz von Kleinparzellenversuchen.

## EM38 Kartierungen

Eine Einstiegsmöglichkeit in den OFE Ansatz bietet die Kartierung mit dem geoelektrischen Bodensensor EM38 (Abb. 3). Auf Gut Helmstorf lagen diese Daten im 24 m Fahrgassensystem zu Versuchsbeginn bereits vor. Beim EM38 handelt es sich um einen Bodenscanner, bei dem eine Sendespule eine elektromagnetische Welle in den Boden sendet. In Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften werden unterschiedlich starke elektrische Ströme an der Empfangsspule induziert. In Verbindung mit einem GNSS wird es somit möglich, relative Bodenunterschiede zu erfassen und Bodenzonen eines Feldschlages zu identifizieren. Für das Projekt wurden die verrechneten Messergebnisse in drei Gruppen zusammengefasst, die entsprechenden Bodeneigenschaften zugeordnet wurden: leichter, mittlerer oder schwerer Boden.

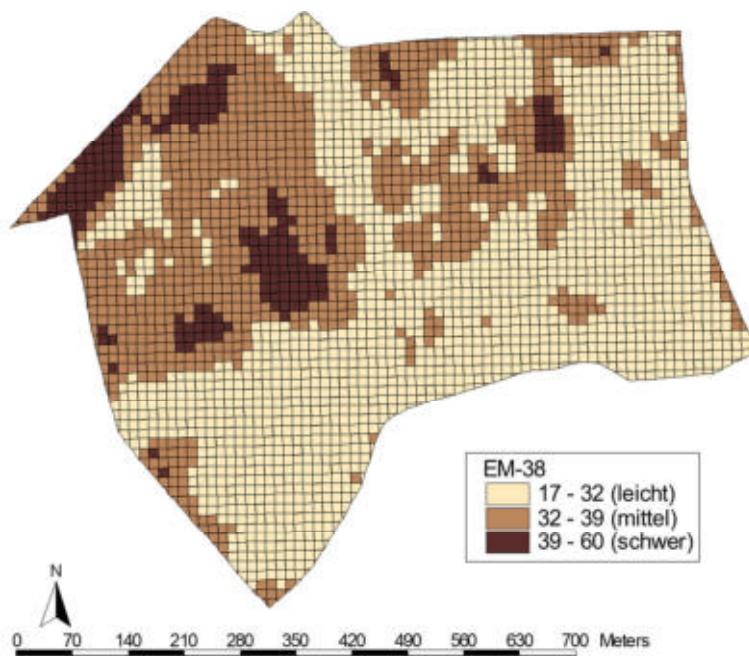


Abb. 3: EM38 Karten „Achterweide“ 2008

Die Messwerte aus dem EM38 sind stark vom Wassergehalt des Bodens überlagert und von der Kalibrierung des Geräts vor der Messung abhängig. Es werden humose, feuchte Senken mit den gleichen Messwerten wie schwere Lehmkuhlen erfasst, sind aber anders zu bewerten und bewirtschaften. Die Messwerte bedürfen daher einer Einordnung mit genauer Vor-Ort-Kenntnis, eine automatische Zuordnung von Bodenklassen ist nicht möglich.

Aus den Messwerten der EM38 Messungen wurden für jeden Projektschlag Karten erstellt, auf denen die unterschiedlichen Bodeneigenschaften zu erkennen sind. Anschließend wurden die Schläge in Vorgewende und drei Großteilstücke unterteilt und die entsprechenden Bodenbearbeitungs- bzw. Düngungsvarianten parallel zur Fahrgassenausrichtung angelegt. Die Verwendung eines Exaktstreuers für die N-Düngung erlaubte, die Versuchsparzellen ohne Überlappungen „randscharf“ zu trennen.

## Flächennutzung der Projektflächen

Grundsätzlich sollte auf den Projektflächen die für Schleswig-Holstein typische Fruchtfolge Winterraps – Winterweizen – (Winterweizen) – Wintergerste abgebildet werden. Aufgrund von unvorhersehbaren Witterungseinflüssen konnte dies nicht in jedem Jahr realisiert werden. In 2011 und 2012 wurden deshalb Sommerweizen und Triticale in die Fruchtfolge aufgenommen. Außerdem mussten Rapsflächen in 2011 aufgrund von Auswinterungen umgebrochen werden. Die Flächennutzung ist in Tab. 3 dargestellt.

Tab. 3: Flächennutzung für die einzelnen Projektflächen 2007–2017 (farbig unterlegte Zellen = keine Versuchsparzellen)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Versuch: Bodenbearbeitung</b>											
Achterweide	WW	SWW	GW	RAW	WW	SWW	RAW	WW	GW	RAW	WW
Hirschkamp	RAW	WW	SWW	GW	RAW (RAS)	WW	SWW	SWW	GW	RAW	WW
Rethacker	GW	RAW	WW	SWW	TIW	SWW	GW	RAW	WW	SWW	RAW
Koppelschlag	SWW	GW	RAW	WW	WS	TIW	RAW	GW	RAW	WW	GW
Krutschenkamp	SWW	RAW	WW	SWW	WS	TIW	RAW	WW	SWW	RAW	WW
<b>Versuch: Düngung</b>											
Hansberg	WW	SWW	GW	RAW	WW	SWW	RAW	WW	GW	RAW	WW
Dwerjahren	RAW	WW	SWW	RAW	WW	SWW	RAW	WW	GW	RAW	WW
Zimmerkamp	SWW	GW	RAW	WW	SWW	SWW	SWW	RAW	WW	GW	RAW
Reuterkoppel	GW	RAW	WW	SWW	WS	TIW	SWW	GW	RAW	WW	SWW
Kortenkamp	SWW	RAW	WW	SWW	TIW	SWW	GW	RAW	WW	SWW	RAW
Hainkamp	WW	GW	RAW	WW	SWW	GW	RAW	GW	RAW	WW	GW
Übelsberg	GW	RAW	WW	SWW	SWW	RAW	WW	SWW	RAW	WW	SWW
Hasenberg	GW	RAW	WW	SWW	RAW	WW	SWW	RAW	WW	GW	RAW
Hohenkamp	RAW	WW	SWW	GW	Mais/ WS	WW n. Mais/ SWW	SWW	GW	RAW	WW	SWW

Die Bewirtschaftung der Projektflächen erfolgte nach dem Grundsatz, dass alle Maßnahmen in den praktischen Ablauf des Gesamtbetriebes integriert werden mussten. Sämtliche Entscheidungen wurden mit dem Ziel einer nachhaltigen Flächenbewirtschaftung getroffen. Aus diesem Grund konnte auf einigen Flächen, vor allem den Wetterbedingungen geschuldet, nicht starr an einer vorgegebenen Fruchtfolge festgehalten werden. Es wurden Alternativen etabliert, die in gleicherweise von einem „Nichtprojektbetrieb“ realisiert worden wären. Die in den einzelnen Versuchsvarianten durchgeföhrten Maßnahmen wurden entsprechend der Erfordernisse des entsprechenden Systems realisiert. Grundsätzlich wurden nicht versuchsrelevante Bewirtschaftungsmaßnahmen zwar kulturspezifisch durchgeführt, spezielle Maßnahmen aber immer den aktuellen Erfordernissen des jeweiligen Systems angepasst.

## 4. Versuchsdaten

### Dokumentation

Für jede Projektfläche wurde für jedes Anbaujahr eine umfangreiche Ackerschlagkartei angelegt. Diese Dokumentation dient als Grundlage für alle folgenden betriebswirtschaftlichen Auswertungen und enthält neben allen relevanten Maßnahmen auch Bonituren, die N-Tester-Messungen und die Ertragsergebnisse von der Fuhrwerkswaage sowie der Ertragserfassung vom Mähdrescher.

### Bonituren

Um Bestandsentwicklungen auf verschiedenen Teilflächen der Versuchsschläge zu dokumentieren, wurde an für die Projektlaufzeit festgelegten, georeferenzierten Punkten Bonituren durchgeführt. Die Festlegung der Beprobungspunkte erfolgte auf Grundlage der EM38 Karten: Auf jeder Fläche und jeder Bodenbearbeitungs- bzw. Düngungsvariante wurden möglichst zwei Punkte jeder Bodengütekasse festgelegt. Grundsätzlich wurden an diesen Punkten (Handproben) folgende Parameter erfasst und ebenfalls in den Ackerschlagkarteien dokumentiert:

- Anzahl Pflanzen/m<sup>2</sup> zum Aufgang
- Im Getreide: Anzahl Ähren/m<sup>2</sup> zur Ernte
- Im Getreide: Ertrag an den Probestellen
- Tausendkorngewicht
- Hektolitergewicht
- Protein- bzw. Ölgehalt
- Im Raps: Herbst-N-Aufnahme (ab 2012)

Zur Ernte wurden die einzelnen Großteilflächen separat gedroschen, per GNSS vermessen und die Ertragsparameter (Flächenernte) erfasst. Hierbei wurde ein angepasstes Kerndruschverfahren durchgeführt, d. h. der Ertrag wurde ohne Vorgewende und Trennstreifen zwischen den Varianten per Fuhrwerkswaage erfasst. Zusätzlich wurde von jedem Großteilstück eine Mischprobe genommen und nach den gleichen Parametern wie die Handproben untersucht. Zur Sicherstellung korrekter Datenaufnahme auf dem Feld und an der Fuhrwerkswaage waren zur Ernte zwei Projektmitarbeiter vor Ort erforderlich.

Für Winterraps existieren mit Ausnahme von Auflaufbonituren und der Bestimmung der Herbst-N-Aufnahme (Sensorscan, Frischmassemethode, Yara ImageIT) ausschließlich Ergebnisse der Flächenernte, da eine Beprobung im Rapsbestand aufgrund der vergleichsweise geringen Bestandsdichte und des ausfälligen Wachstums nicht möglich ist.

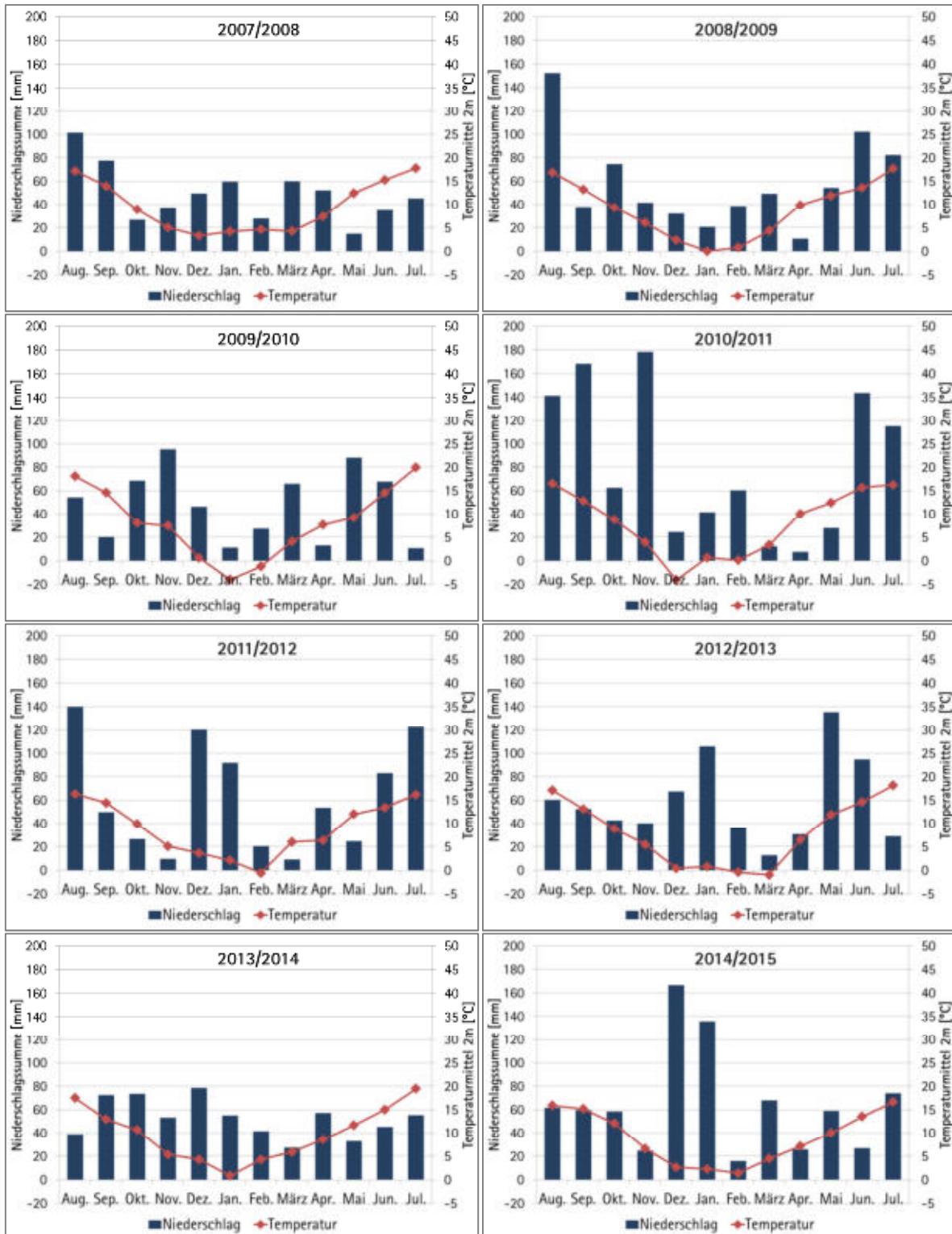
Jedes Großteilstück ist im Getreide mit dem Yara N-Tester über die gesamte Vegetation engmaschig bonitiert worden.

Die Bestände sind im Vegetationsverlauf zu verschiedenen Stadien während der Düngemaßnahmen oder mit gesonderten Durchfahrten, mit dem jeweils verfügbaren Sensorsystem gescannt worden.

Für die Grunddüngung wurde zu Beginn eine Beprobung in einem systematischen 1 ha- Raster auf den Versuchsschlägen durchgeführt um den Ausgangszustand der Flächen abzubilden. Zur Halbzeit und zum Ende des Projekts wurde die Beprobung wiederholt, um einen Zwischenstand und ein Endergebnis zu erhalten.

## 5. Witterung im Projektzeitraum 2008 – 2017

Um den Witterungsverlauf der Region um Gut Helmstorf charakterisieren zu können, werden im Folgenden die monatlichen Summen der Niederschlagshöhe [mm] sowie die monatlichen Durchschnittstemperaturen [°C] der Wetterstation Futterkamp (Luftlinie ca. 3 km) dargestellt (Abb. 4).



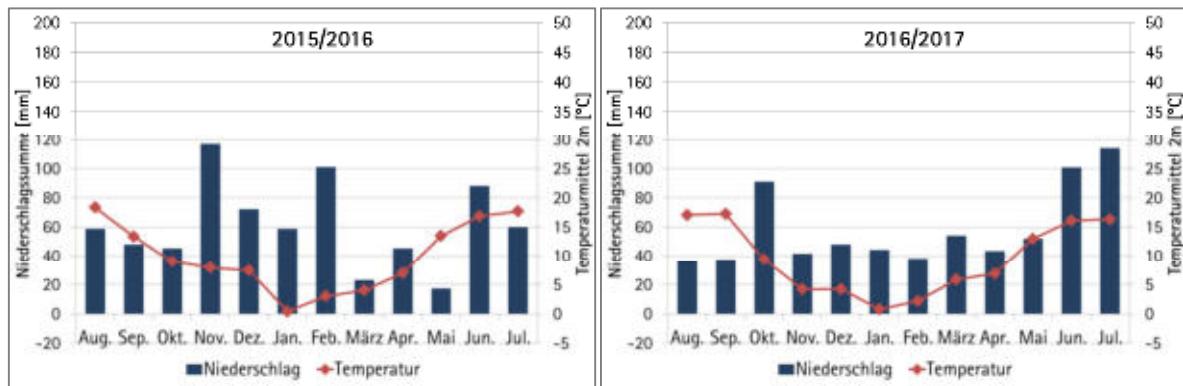


Abb. 4: Witterungsverlauf am Standort Futterkamp Erntejahre 2008 – 2017.

## 6. Ergebnisse

### 6.1. GPS und Lenksysteme

Durch die Nutzung von Lenksystemen versprach man sich die folgenden Verbesserungen:

- Reduzierung Überlappung
- Einsparung Betriebsmittel
- Sicheres Arbeiten bei schlechter Sicht (Nebel, Nacht), bei ungünstigem Relief

Grundlage für automatisches Lenken und auch für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung ist die Ortsbestimmung auf dem Feld mittels GPS. Unter dem Begriff GPS versteht man im Allgemeinen Geräte, die anhand von Satellitendaten ihre aktuelle Position bestimmen können. Inzwischen nutzt man den Sammelbegriff GNSS (Global Navigation Satellite System), weil GPS eigentlich nur das amerikanische Navstar-System bezeichnet. Die dazugehörigen Satelliten bewegen sich am südlichen Horizont, wodurch der Empfang mit zunehmender Entfernung vom Äquator schwieriger wird. Alternativ gibt es das Glonass-System der Russischen Föderation, dessen Satellitenbahnen weiter nördlich verlaufen, sodass die Abdeckung in Schleswig-Holstein besser ist. Das bisher noch nicht komplett einsatzfähige europäische System Galileo ist für die zivile Nutzung ausgelegt und soll auch Nordeuropa sicher abdecken. In der Praxis wird heute meist eine Kombination aus GPS und Glonass genutzt. In Helmstorf hat erst die zusätzliche Verwendung von Glonass die notwendige Einsatzsicherheit erzielt und eine ausreichende Anzahl von mindestens sieben verfügbaren Satelliten sichergestellt.

Das frei verfügbare GNSS ist ohne weitere Korrekturen für eine zentimetergenaue Spurführung vor allem bei der Aussaat zu ungenau. Das Signal wird auf dem Weg zwischen Satellit und Empfänger durch die Atmosphäre oder durch Reflexion verfälscht. Dadurch ergeben sich zeitliche Versätze des Signals, die zu Abweichungen von mehreren Metern führen können. Bei ungünstiger Satellitenstellung ist die durch Triangulation errechnete Position nicht präzise genug. Im praktischen Betrieb hat sich vor allem die Abschattung durch Bäume und Knicks als Problem gezeigt.

Mit zunehmender Anforderung an die Genauigkeit beim automatischen Lenken steigt der technische Aufwand und damit die Kosten für die Korrektur der Positionsdaten. Ein einfacher Empfänger ohne Korrektur mit einer Genauigkeit von etwa 10 m kostet 100 EUR, ein DGPS-Empfänger mit frei verfügbarer Egnos-Korrektur und einer Genauigkeit von etwa 1 m kostet 1.000 EUR. Für die höchste Genauigkeit von 2-3 cm ist ein Empfänger mit zusätzlicher Empfangsmöglichkeit für Glonass und RTK-Korrektursignal für 10.000 EUR notwendig.

Bei der Beurteilung von Genauigkeiten unterscheidet man absolute und relative Genauigkeit (Abb. 5).

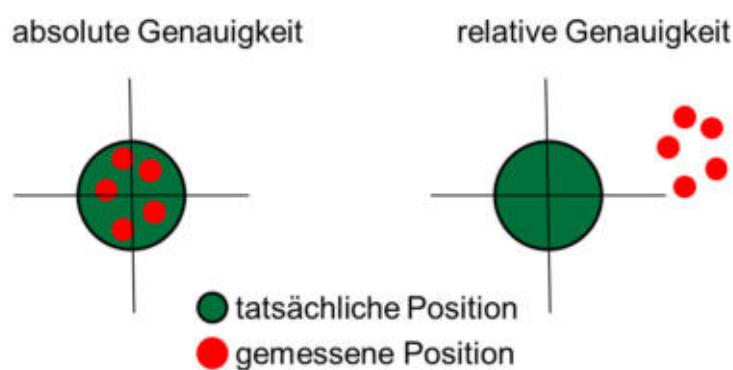


Abb. 5: Absolute und relative Genauigkeit

Die relative oder Spur-zu-Spur-Genauigkeit reicht für alle Arbeiten aus, deren Position nach kurzer Zeit (innerhalb von 15 Minuten) wieder angefahren wird, wie beispielsweise während der Bodenbearbeitung. Die absolute Genauigkeit ist gefordert, wenn Punkte über eine lange Zeit immer wieder aufgefunden

werden müssen, etwa beim Drillen mit festen Fahrspuren über mehrere Jahre, Vermessung von Feldgrenzen und Drainagen.

Die Ausbaustufe von Lenksystemen wird in drei Klassen eingeteilt (Tab. 4).

Tab. 4: Lenksystemtypen

	Optische Lenkhilfe	Lenkassistent	Lenkautomat
Genauigkeit	0,5-1,0 m	0,1-0,5 m	0,02-0,05 m
Eignung	Düngung, Grünland	Bodenbearbeitung, Teilbreitenschaltung	Aussaat
Funktion	manuelle Eingriffe in die Lenkung, Orientierung mit Lichtbalken	automatische Lenkung ohne Eingriff in die Hydraulik, Stellmotor am Lenkrad	automatische Lenkung mit Eingriff in die Hydraulik, vernetzt mit Fahrzeugelektronik, Lenkwinkelsensor
Entlastung	wenig/mittel	hoch	sehr hoch

Beim Einstieg in das OFR-Projekt wurde nach einer automatischen und herstellerunabhängigen Lösung mit einer RTK-Korrektur gesucht. Die Fa. Trimble bot Technik für alle gängigen Maschinen unabhängig vom Hersteller. Zunächst wurde ein Lenkassistent eingebaut, bei dem ein Reibradmotor das Lenkrad des Schleppers drehte.

Bei der genauen Spurführung im Zentimeterbereich machen sich die Bewegungen der GNSS-Antenne bei Bewegungen des Schleppers bemerkbar und müssen ausgeglichen werden. (Abb. 6).

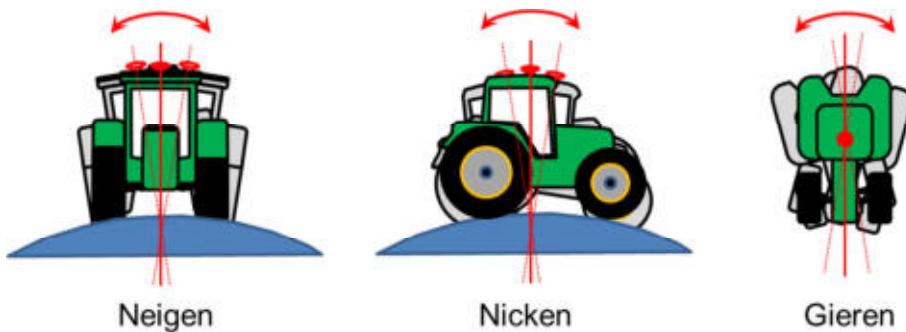


Abb. 6: Bewegung der Maschine und der GNSS-Antenne

Das zu Beginn eingesetzte Lenksystem hatte nur einen Ausgleich für Nick- und Negebewegungen und keinen eigenen Lenkwinkelsensor. Der Fahrer musste das Lenkrad während der Fahrt loslassen. Diese Lösung erfasst nicht alle Schlepperbewegungen und ist für das kuppierte Gelände in Helmstorf zu träge und konnte nicht überzeugen.

Die Korrekturdaten wurden per Funk von der RTK-Station zur Maschine übertragen und nutzten nur Navstar-Satelliten. Unter Bäumen und in Senken fiel das System häufig aus und fand dann lange nicht in die aktuelle Spur zurück. Insgesamt benötigte das System nach dem Wenden unter Bäumen am Feldrand zu lange, um wieder in die richtige Spur zu kommen. Es wurde wegen der zusätzlich notwendigen Aufmerksamkeit vom Fahrer nicht als Erleichterung wahrgenommen.

Die nächste Schleppergeneration wurde dann mit werksseitiger Vorrüstung angeschafft. Auf diese Vorrüstung mit Lenkwinkelsensoren und ansteuerbarem Hydraulikventil wurde dann ein Trimble-System aufgesetzt. Die Lenkimpulse konnten somit direkt in die Lenkhydraulik gesendet werden. Das Lenkrad blieb dabei unbewegt. Die RTK-Korrektur wurde weiterhin per Funk versendet. Erst dieses System funktionierte stabil und genau genug, dass es von den Anwendern als Entlastung wahrgenommen wurde. Mit der Anschaffung eines neuen Raupenschleppers wurde ein neuer Lenkautomat erworben mit Navstar und Glonass. Die RTK-Korrektur kam nun nicht mehr von der hofeigenen Station, sondern vom RTK-Netzwerk der Lohnunternehmer. Das Korrektursignal wurde per Handynetz zur Maschine gesendet. Mit der zusätzlichen Nutzung von Glonass waren alle Ausfallprobleme gelöst.

Diese Erfahrungen führten dann zur Anschaffung einer neuen hofeigenen RTK-Station, die GPS und Glonass nutzt, die Korrektur per Funk und Handynet erlaubt und verschiedene Herstellerformate abdeckt. Dafür ist an der Station eine DSL-Leitung mit fester Internetadresse notwendig. Die verfügbare Leitungskapazität im Festnetz in Helmstorf ist mit etwa 400 Kbit/s dabei gerade noch ausreichend. Diese Anlage liefert inzwischen Korrekturen für bis zu zehn Schlepper und Mähdrescher. Die Anschaffungskosten dieser Anlage rechnen sich aufgrund von Einsparungen bei der Nutzung durch mehrere Maschinen. Für jede einzelne Maschine müsste ohne eigene RTK-Anlage eine Korrektursignal-Lizenz für etwa 800-1.000 EUR pro Jahr erworben werden.

In der praktischen Anwendung hat sich gezeigt, dass die theoretisch erreichbare Genauigkeit beim Lenken durch das angehängte Gerät begrenzt ist, wenn es nicht mittig dem gelenkten Schlepper folgt und die Abweichung über die Geschwindigkeit variiert. In Hanglagen ist das seitliche Abrutschen des angehängten Geräts ohne zusätzlichen Empfänger auf dem Arbeitsgerät praktisch nicht zu erfassen. In festgesetzten Unterlenkern geführte Geräte „drehen“ den Zugschlepper aus der Spur. Diese Drehung/Gierbewegung können moderne Lenksysteme registrieren und ausgleichen. Ein einfaches Versetzen der GNSS-Antenne vom Schlepper auf das angehängte Gerät, um dieses spurenau zu führen, ist nicht möglich, weil die Lenkausschläge vom Schlepper zum Ausgleich schon geringer Abweichungen zu groß werden. Abhilfe können hier Systeme mit einem weiteren GNSS-Empfänger auf dem angehängten Gerät schaffen, die das Gerät unabhängig von der Zugmaschine auslenken oder in einem Rahmen seitlich versetzen können. Dies erfordert aber neben dem zweiten Lenksystem die Aufrüstung bestehender Arbeitsgeräte mit aktiver Lenkung bzw. Verschieberahmen.

Weiterer Nutzen für GNSS ist die Teilbreitenschaltung von Spritzen, Exaktstreuern und inzwischen auch Schleuderstreuern. Die im Projektbetrieb verwendete Spritze und der AGT36m verfügen dazu über Empfänger mit Egnos-Korrektur und funktionieren zuverlässig, wenn nicht viel Zeit zwischen den einzelnen Anwendungen liegt.

Im Projekt wurden mit GNSS mit Egnos-Korrektur und Handheld die Boniturstellen angelegt und wiedergefunden und Flächen der Varianten beim Dreschen, Ausfallflächen in den Beständen, Drainage und Stilllegungen eingemessen.

Die auf den Schleppern eingesetzte Technik war innerhalb weniger Jahre veraltet und musste während der Projektlaufzeit ausgetauscht werden.

- Lenksysteme entlasten den Fahrer, wenn sie sicher funktionieren.
- Mangelnde Einsatzsicherheit belastet den Fahrer zusätzlich.
- Einsatzsicherheit erst durch Kombination von Navstar und Glonass gegeben.
- eigene RTK-Station rechnet sich bei mehreren Maschinen.
- stabile Internetversorgung in der Fläche und Breitband an der Basisstation notwendig.

## 6.2. Grunddüngung

Ziele:

- An die Teilfläche angepasste Düngung
- Homogenisierung in Gehaltsklasse C
- bessere Ausnutzung von Dünger durch Umverteilung
- Senkung der Nährstoffkosten
- Stärkere Absicherung/Stabilisierung von Ertragsniveau

Das Projekt stand zu Beginn noch unter dem Einfluss der schlechten Erzeugerpreise Anfang der 2000er Jahre. Leitgedanke war daher, mittels innovativer Technik Betriebsmittel- und Arbeitserledigungskosten zu minimieren, um auch unter wirtschaftlich schwierigen Gegebenheiten weitestgehend kostendeckend wirtschaften und nachhaltig die betrieblichen Existenz sichern zu können. Durch die Verbesserung der Prozesse sollten Kornrträge und Qualitäten mindestens gehalten werden. Parallel war an die Landwirtschaft zu einer höheren Nährstoffeffizienz verpflichtet worden. Nährstoffsalden bei Stickstoff und Phosphat wurden aus Umweltgründen gesetzlich verankert. Aus diesem Gründen war und ist die

Landwirtschaft auf der Suche nach und offen für geeignete technische Unterstützung, um über teilflächenspezifische Maßnahmen in Summe eine Verbesserung in alle Richtungen zu erzielen. Das Ziel der teilflächenspezifischen Grunddüngung ist wie bei einheitlicher Düngung die bedarfsgerechte Versorgung der Pflanzenbestände mit Hauptnährstoffen und die Organisation einer gleichmäßigen Nährstoffversorgung. Die neue Technik bietet jedoch die Möglichkeit, bezogen auf die Einzelfläche bedarfsgerechter zu reagieren.

Kurzfristig soll durch die moderne Technik eine schwächere Versorgung von Teilflächen durch höhere Streu- als Abfuhrmengen den Pflanzenbeständen ausreichend verfügbare Nährstoffmengen zur Ausschöpfung des Ertrags- und Qualitätspotenzials bieten. Auf Teilflächen mit höheren Gehalten können dagegen die Streumengen ohne Nachteile für die Pflanzenernährung reduziert und Düngemittelkosten gespart werden. Gedacht ist auch, über die präzise Applikation die Grunddünger Kosten zu reduzieren. Mittel- und langfristig soll über die präzise Düngung der Boden jeder Teilfläche auf optimale Nährstoffgehalte eingestellt werden. So kann sich die Pflanze jeder Zeit ausreichend über den verfügbaren Nährstoffpool ernähren.

Homogenität als Maßeinheit für die Zielerreichung ist unter praktischen Bedingungen nicht konkret definiert. Lässt sich nur von homogener Versorgung sprechen, wenn 100 % der Teilflächen in die Gehaltsklasse C eingestuft sind. Oder gelten Flächen mit 90 % bzw. 80 % der Teilflächen in GHK C bereits als homogen versorgt.

### 6.2.1. Düngerstreuer

Für die Grunddüngung wird ein Großflächenstreuer von der Fa. Bredal (Abb. 7) eingesetzt.



Abb. 7: Düngerstreuer Bredal

Bei diesem Streuertyp wird beim Abdrehen über einen Schieber je nach Düngertyp und -menge ein Öffnungsspalt fest eingestellt und die zu dosierende Menge über ein in der Geschwindigkeit variierendes Band verändert. Dieser Streuer musste zu Projektbeginn umgerüstet werden. Das bis dahin zur Dosierung verwendete Reibrad zum Ausregeln der Fahrgeschwindigkeit bei einheitlicher Düngemenge ist durch einen hydraulischen Antrieb ersetzt worden, der in der Drehzahl variabel angesteuert wird. Dadurch wird das Förderband mit dem Dünger unterschiedlich schnell bewegt und die Düngermenge variiert. Das verwendete Terminal (LH500) spiegelt nur die Vorgabewerte zurück und liefert so keinen echten Datenruckschrieb. Es lassen sich keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Dosierung und die Regelzeiten ziehen. Die teilflächenspezifische Ansteuerung erfolgte über ein vorgesetztes Windows-Terminal, das die Vorgabenkarte und ein einfaches GNSS enthält und die Anweisungen kabelgebunden an das Streuerterminal weitergibt. Das System lief von Beginn an stabil.

Zu jeder Düngergabe wird der Streuer abgedreht und die auf einer Referenzfläche ausgebrachte Menge zur Kontrolle zurückgewogen. Zusätzlich wird die Querverteilung mittels Streuschalen überprüft und eingestellt.

- Stabiles System.
- Kein Rückschrieb.

## 6.2.2. Bodenartbestimmung

Der Projektstandort Wetterade/ Helmstorf ist im Östlichen Hügelland dem heterogensten Naturraum Schleswig-Holsteins lokalisiert. Die Böden wurden zu Projektbeginn als vorwiegend sandiger Lehm beschrieben. Sie haben Ackerzahlen zwischen 20 und 55 Bodenpunkten und die Geländehöhe variiert zwischen 10 m und 75 m über N. N.. Helmstorf steht stellvertretend für die Böden im Östlichen Hügelland und in Teilen Mecklenburg-Vorpommerns.

### Teilfläche in der Grunddüngung

Um mittels Probenraster die jeweilige Bodenart und Nährstoffversorgung möglichst gut zu erfassen, wurden zu Projektbeginn alle Versuchsschläge intensiv im systematischen 1 ha-Raster per Kreisbeprobung beprobt. Abb. 8 zeigt das systematische 1 ha-Raster, die Beganglinie für die Kreisbeprobung sowie die Fahrgassen. Die Probennahmepunkte liegen auf der Kreislinie, die sich aus einem Radius von 25 m rund um den Mittelpunkt der 1 ha-Rasterzelle ergibt. Für Folgebeprobungen sind alle Kreisbeprobungen zum Wiederauffinden per GNSS eingemessen. Um die teilflächenspezifische Grunddüngung technisch möglichst gut umsetzen zu können, ist das 1 ha-Raster an den Fahrgassen auszurichten (s. Abb. 85, S. 139). D. h. die Rasterkanten sollen in Fahrtrichtung parallel zu den Fahrgassen verlaufen. Das alles gehörte zu einem zu Projektbeginn eingekauften Dienstleistungspaket zur teilflächigen Grunddüngung.

Der Abbildung liegt eine EM38-Karte zugrunde, die Unterschiede im Bodenwassergehalt widerspiegelt. Aus diesem relativen Messwert kann jedoch keine Bodenart abgeleitet werden. Wissenschaftliche Arbeiten, die eine Orientierung geben, ob und wie der Praktiker durch die Einbeziehung von EM38-Messwerte seine einheitliche oder teilflächenspezifische Grunddüngung einfach verbessern kann, liegen nicht vor. Die zu Projektbeginn vorhandenen EM38-Karten der OFR-Projektschläge wurden daher nicht für die praktische Grunddüngung genutzt, dienten aber einer anderen teilflächenspezifischen Anwendung als Ausgangsbasis (vgl. Abb. 41, S. 84). Über das Kartenmaterial ließ sich jedoch ein erster vergleichsweise engmaschiger Eindruck zur Bodenheterogenität des Standortes Helmstorf gewinnen (s. S. 21).

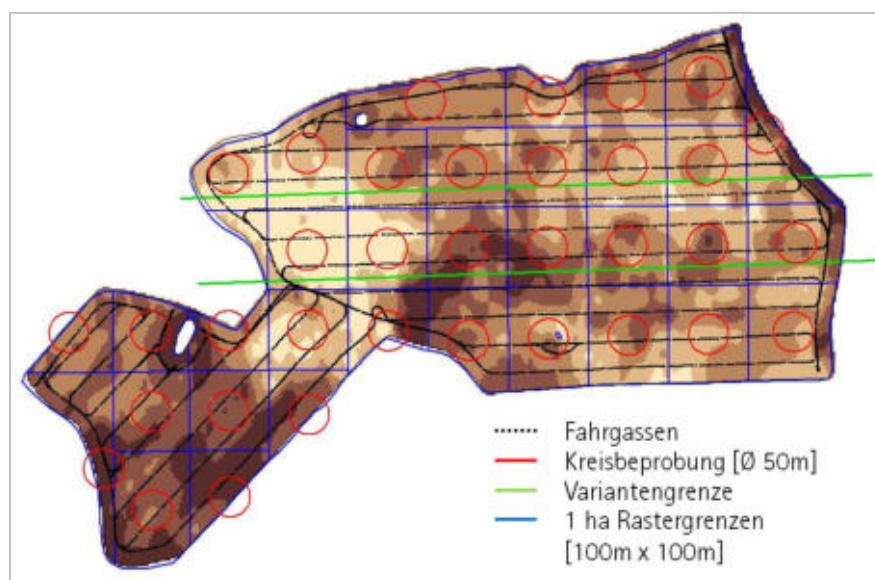


Abb. 8: Darstellung des 1 ha-Rasters mit der Kreisbeprobung der Teilflächen. Beispiel Dwerjahren 35 ha.

## Bodenartbestimmung

Die Bodenart ist für die richtige Umsetzung der Grunddüngung wichtig. Sie bestimmt bekanntermaßen bei den bodenartabhängigen Nährstoffen (Kalium, Magnesium, Kalk) aufbauend auf dem Bodennährstoffgehalt und zusätzlich zum Humusgehalt die Einstufung des Nährstoffs in die Gehaltsklassen (GHK) mit. Ausgehend von der Gehaltsklasse werden nach Richtwerten für die Düngung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Richtwerte) entsprechend zu düngende Nährstoffmengen empfohlen. Eine genaue Bodenart ist daher für die präzise Ableitung der Nährstoffversorgung sowie des Düngebedarfs unerlässlich.

Die Fingerprobe wird vom VDLUFA empfohlen und ist bundesweiter Standard für die Bestimmung der Bodenart. Die Ausgangsbeprobung 2008 ergab nach Fingerprobe für alle 321 Teilflächen des Standortes als Bodenart sandiger Lehm (sL). Diese Homogenität widersprach den vorliegenden Informationen und Erfahrungen. Deshalb wurden 2011 alle Teilflächen vom Projektschlag „Koppelschlag“ in die Schlämmanalyse gegeben. Die Bodenarten nach Schlämmanalyse wichen deutlich von denen nach Fingerprobe ab. Die genaue Bodenartbestimmung im Bereich von I'S, IS und sL gilt für die Fingerprobe als Herausforderung. Spezielle Korngrößenfraktionen und/ oder Humusgehalte können für die Bodenartbestimmung per Fingerprobe irreführend sein, das Ergebnis unterliegt immer auch subjektiven Eindrücken. Die Schlämmanalyse gilt als genauer. Ihre Ergebnisse beruhen auf Messungen.

Vor diesen Hintergründen entschied sich für eine bestmögliche Umsetzung der teilflächenspezifischen Grunddüngung, alle weiteren Projektschläge mit allen Teilflächen zu schlämmen. Mit der Beprobung zur Halbzeit in 2012 wurden auch die Proben für die Schlämmanalyse gezogen und deren Schlämme über 3 Wirtschaftsjahre verteilt. Nach VDLUFA kann der Boden auf unterschiedliche Korngrößenfraktionen geschlämmt und die Bodenart auf Basis vom Tongehalt oder auf Basis der Summe aus Ton- und Feinschluffgehalt oder auf Basis von Ton- bzw. Schluffgehalt (Bodenartendreieck) abgeleitet werden. Auf den Projektflächen führten die drei Ansätze allerdings anteilig zu unterschiedlichen Bodenarten für dieselbe Teilfläche. Abb. 9 zeigt die Bodenartergebnisse aus 2008 nach Fingerprobe sowie aus 2012 nach Fingerprobe und nach Schlämmanalyse.

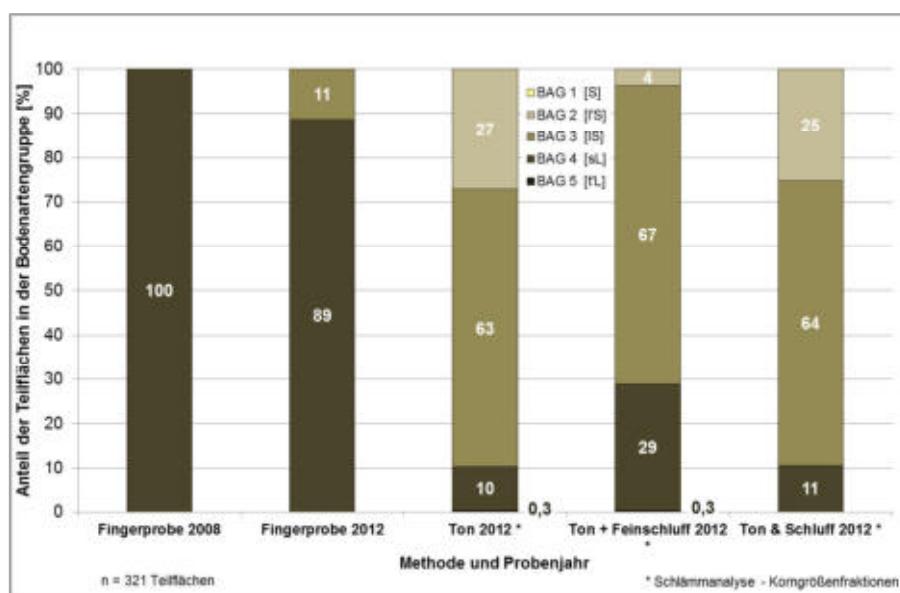


Abb. 9: Bodenartenverteilung über alle Teilflächen nach Bestimmungsmethode.

Im Vergleich zu 2008 bestätigte sich bei der Bodenuntersuchung aller Versuchsschläge 2012 für 89 % der Teilflächen per Fingerprobe die Bodenart sandiger Lehm (sL). Die restlichen 11 % wurden als lehmiger Sand (IS) und eine Bodenartengruppe niedriger als zuvor eingeschätzt. Die Schlämmanalyse fand auf den 321 Teilflächen bis zu 4 verschiedene Bodenarten. Eine einzige Teilfläche wurde als sehr schwer (toniger Lehm) beschrieben. In Relation zur Fingerprobe war sandiger Lehm (sL) nach Schlämmanalyse mit 10 % bis 29 % deutlich seltener vertreten. Neue Leitbodenart wurde lehmiger Sand (IS) mit 63 % bis 67 %. Der anlehmige Sand (I'S) war auf bis zu 27 % der Teilflächen vertreten. Sand kam auf den Projektflächen

nicht vor. Der anfängliche Eindruck, Fingerprobe und Schlämmanalyse kommen am Standort nicht zum selben Bodenartenergebnis, hatte sich bestätigt. Zwischen den Schlägen gibt es unterschiedliche Anteile an den Bodenarten I'S, IS und/ oder sL.

Durch die Schlämmanalyse ist der Praktiker anteilig mit vom praktischen Standard komplett abweichenden Bodenarten-Bezeichnungen konfrontiert. Tab. 5 zeigt die Bodenarteneinteilung bzw. deren Bezeichnungen nach VDLUFA, nach Bodenkundlicher Kartieranleitung und nach Reichsbodenschätzung. Im Bericht wird durchgängig das VDLUFA-Symbol zur Beschreibung der Bodenart verwendet. Der Praktiker findet sich hier schneller wieder und für die Umsetzung der Grunddüngung entscheidend ist die Bodenartengruppe [BAG] bzw. ihr Symbol.

**Tab. 5: Bodenarteneinteilung nach VDLUFA und Geologischer Dienst NRW (verändert)**

Nr.	Bodenartengruppe vorwiegende Bodenart	Einteilung nach					Kartier- anleitung Boden- kunde <sup>5)</sup>	Reichs- Boden- schätzung
		Symbol	Tongehalt [%] <sup>1)</sup>	Ton- plus Feinschluff- gehalt [%] <sup>2)</sup>	Bezeichnung in der Düngungs- praxis			
1	Sand	S	bis 5	bis 7			Ss, Su2	S
2	schwach lehmiger Sand	I'S	>5 bis 12	>7 bis 16		leichte Böden	St2, SI2, SI3, Su3, Su4, Us, Uu	SI, IS
3 <sup>3)</sup>	stark lehmiger Sand	IS	>12 bis 17	>16 bis 23		mittlere Böden (Nr. 4 wird regional als schwerer Boden eingestuft.)	SI4, Slu, Ul, Ut2, Ut3	SL
4 <sup>3)</sup>	sandiger/schluffiger Lehm	sL/uL	>17 bis 25	>23 bis 35			St3, Ts4, Ls4, Lts, Lt2, Ls3, Ls2, Lu, Ut4, Ts3	L, sL
5 <sup>4)</sup>	<i>toniger Lehm bis Ton schwach toniger Lehm, toniger Lehm, lehmiger Ton, Ton</i>	t'L tL IT T	>25 bis 35 >35 bis 45 >45 bis 65 >65	>35		schwere Böden	Tu3, Lt3, Tu2, Tl, Ts2, Tt, Tu4	LT, T
6	Moor (Böden > 30 % Humus)	Mo	-	-		Moor		

1) Korngröße < 0,002 mm in % mineralischer TM nach DIN 19682.

2) Korngröße < 0,006 mm in % mineralischer TM nach DIN 19682. Die Einstufung der Böden in Bodenartengruppen kann entweder nach dem Gehalt an Ton oder nach dem Gehalt an Ton plus Feinschluff erfolgen.

3) Böden mit Schluffgehalten von > 50 % werden in die Bodenartengruppe 4, bei höherem Gehalt an Ton (oder Ton plus Feinschluff) in die Bodenartengruppe 5 eingestuft.

4) Die aufgeführten Bodenarten der Gruppe 5 können im Untersuchungsbefund ausgewiesen werden. Sie unterscheiden sich jedoch im Aufkalkungsziel und -bedarf nicht.

5) Korngröße < 0,002 mm in % sowie Korngröße 0,002 bis < 0,063 in % mineralischer TM.

### Nährstoffversorgung der Teilfläche

#### **Der erwähnte Bodenarteneinfluss auf die Einstufung der bodenartabhängigen Nährstoffe in die Gehaltsklassen (GHK) zeigt dieses in**

Abb. 10 im Detail. Für jede 1 ha-Rasterzelle bzw. Teilfläche vom Projektschlag "Koppelschlag" sind die Bodenart und die Versorgung beim bodenartabhängigen Nährstoff Kalium dargestellt. Die Bodenarten wurden jeweils nach den oben beschriebene Methoden bzw. Ansätzen bestimmt. Sie führen zu

unterschiedlichen Bodenarten und Bodenartenverteilungen generell zwischen Fingerprobe und Schlämmanalyse aber auch zwischen deren unterschiedlichen Ansätzen. Der jeweiligen Kalium-Karte liegt je identischer Rasterzelle, derselbe Bodennährstoffgehalt zugrunde. Die Einstufung derselben Teilfläche in unterschiedliche GHK wird allein durch die Bodenartunterschiede verursacht. Die Gehaltklasseneinteilung basiert auf Richtwerten für die Düngung bzw. auf ihren Gehaltklassengrenzwerten je Bodenartengruppe.

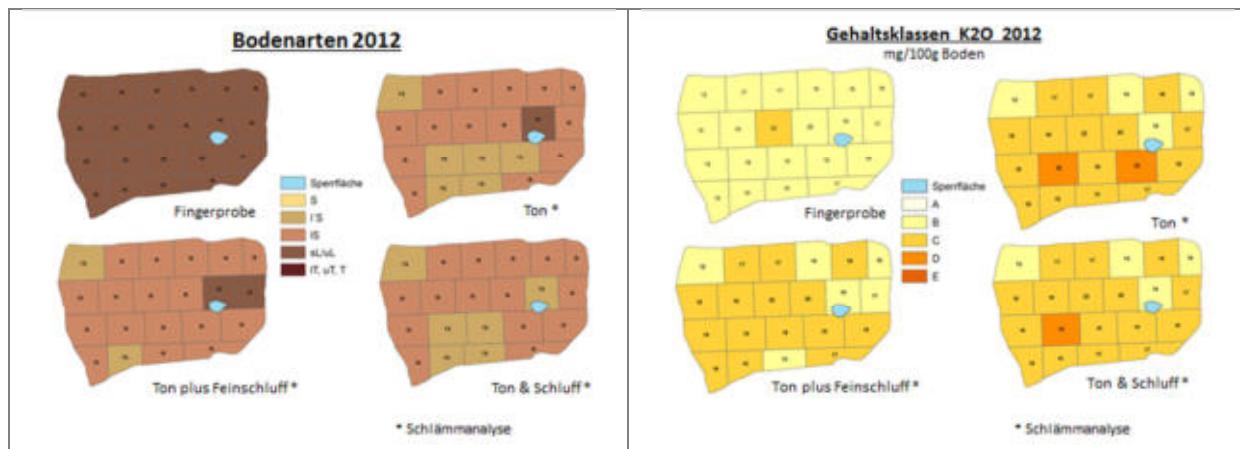


Abb. 10: Methodenabhängige Bodenarten (links) bzw. Kaliumversorgung (rechts) der Teilflächen des „Koppelschlag“ 2012.

Nach Fingerprobe besteht nur für eine Teilfläche Erhaltungsbedarf. Die restlichen 20 Teilflächen sind in GHK B eingestuft, für die eine leicht erhöhte Düngung empfohlen wird. Für die Schlämmanalyse nach Ton & Schluff sind dagegen 16 Teilflächen optimal versorgt (GHK C) und bedürfen lediglich einer Erhaltungs- bzw. Abfuhrdüngung. Auf einer Teilfläche kann aufgrund sehr guter Versorgung mit reduzierter Kalimenge gedüngt werden. Die restlichen Teilflächen haben eine schwächere Versorgung mit entsprechend höherem Düngebedarf.

#### Nährstoffkosten und Analysenkosten

Die Bodenartbestimmung wirkt sich auf die Einstufung der Teilflächen in die Gehaltklassen sowie auf die empfohlenen Düngemengen aus. Für den 20 ha großen „Koppelschlag“ wurde auf Basis der Nährstoffuntersuchungsergebnisse 2008 sowie der Bodenart nach Fingerprobe bzw. nach Schlämmanalysen der gesamte Düngebedarf für eine 3-jährige Fruchtfolge nach Richtwerten berechnet. Die Fruchtfolge setzt sich aus Winterraps (45 dt/ha), Winterweizen (97 dt/ha) und Wintergerste (98 dt/ha) zusammen. Um auch die monetären Folgen aus der Bodenartbestimmung abschätzen zu können, wurden ergänzend die Nährstoffkosten kalkuliert. Je Kilogramm Nährstoff wurden beim Phosphat 0,76 €, beim Kalium 0,53 €, beim Magnesium 0,78 € und beim Kalk bzw. CaO 0,06 € angesetzt. Phosphat als einziger bodenartunabhängiger Hauptnährstoff ist von der Bodenart in Mengen und Kosten unberührt. Dagegen variieren Kalium, Magnesium und Kalk zwischen den Bestimmungsmethoden (Tab. 6).

Tab. 6: Die Bodenartbestimmung beeinflusst den Düngungsbedarf und die Nährstoffkosten

Bodenartbestimmung Methode	Nährstoffbedarf in kg ***					Nährstoffkosten in €, excl. MwSt.					Summe nur Bodenartabhängige
	P2O5	K2O	MgO	CaO	P2O5	K2O Verschnitt P- / K- Karten	MgO über Kieserit / S rausgerechnet	CaO	Summe		
Fingerprobe	7.202	4.981	4.607	23.493	5.452	2.660	3.594	1.433	13.139	7.687	
Ton*	7.202	2.251	3.735	2.871	5.452	1.202	2.914	175	9.743	4.291	
Ton&Schluff*	7.202	2.341	3.766	2.871	5.452	1.250	2.937	175	9.814	4.362	
Ton&Feinschluff**	7.202	2.656	3.902	2.871	5.452	1.418	3.044	175	10.089	4.637	

\* Schlämmanalyse - 3 Korngrößenfraktionen

\*\* Schlämmanalyse - 5 Korngrößenfraktionen

\*\*\* Koppelschlag, 20 ha, 21 Teilflächen, RAW-WW-GW, BU 2008

Die Grundnährstoffkosten nach Fingerprobe sind am höchsten. Die Ausgaben nach Schlämmanalysenansätzen folgen mit deutlichem Abstand. Die Kostenunterschiede zwischen den Schlämmanalysenansätzen sind verhältnismäßig gering. Am stärksten werden die Kaliumkosten reduziert, in ähnlicher Größenordnung auch die vom Kalk. Die Einsparungen beim Magnesium sind in etwa halb so hoch wie bei den anderen beiden Nährstoffen. Das röhrt jedoch anteilig aus der relativ teuren Magnesiumquelle Kieserit her (s. S. 45).

Pflanzenbaulich kritisch sind für die leichteren Bodenarten die nach Fingerprobe kalkulierten Kalkmengen. Nach Schlämmanalyse waren beispielsweise 95 % der Teilflächen vom Koppelschlag aufgrund hoher bis sehr hoher pH-Werte ohne Kalkbedarf (nach Ton & Schluff je 50 % in Gehaltsklasse D bzw. E), während nach Fingerprobe für die überwiegenden Teilflächen Erhaltungskalkung empfohlen wurde. Vielfach lagen die pH-Werte zu Projektbeginn über pH 7,0 aufgrund von langjährig kalkstabilisierten Klärschlamm- sowie Kalk-Einsatz. Eine Kalkung nach Fingerprobe bei bereits bestehender Übersorgung, kann zu stark alkalischen pH-Werten führen und damit Phosphatfestlegungen verursachen.

Relativ zur Fingerprobe gesehen, betragen die Nährstoffkosten für Kalium, Magnesium und Kalk für den gesamten Schlag in der 3-jährigen Fruchfolge nach Ton-Ansatz nur 56 % oder 3.396 € weniger (Tab. 7). Nach Ton & Schluff fallen nur 57 % der Kosten an bzw. diese um 3.324 € geringer aus. Nach dem Ansatz Ton plus Feinschluff entsprechen die Kosten 60 % bzw. liegen sie 3.049 € unterhalb der Grunddüngung nach Fingerprobe.

Tab. 7: Nährstoffkostendifferenz sowie Schlämmanalysenkosten in Abhängigkeit von der Bodenartbestimmung und -ableitung

Nährstoffkostendifferenz in € excl. MwSt.	Fingerprobe	Ton *	Ton & Schluff *	Ton & Feinschluff **	Kostenrelation Bodenartabhängige
Fingerprobe		-3.396	-3.324	-3.049	100
Ton *	3.396		72	346	56
Ton & Schluff *	3.324	-72		275	57
Ton & Feinschluff **	3.049	-346	-275		60

Kosten der Schlämmanalyse	Anzahl Proben pro Schlag **	€/Probe	€ Schlag, excl. MwSt.
3 Korngrößenfraktionen	21	35	735
5 Korngrößenfraktionen		60	1.260

\* Schlämmanalyse - 3 Korngrößenfraktionen (Sand, Schluff, Ton)

\*\* Schlämmanalyse - 5 Korngrößenfraktionen (Sand, Grob-, Mittel-, Feinschluff, Ton)

\*\*\* Koppelschlag, 20 ha, 21 Teilflächen im 1 ha-Raster

Die Schlämmanalyse mindert unter den gegebenen Bedingungen die bodenartabhängigen Nährstoffkosten. Sie ist in der Bodenartbestimmung aber deutlich teurer. Auf dem Koppelschlag werden durch sie für Nährstoffe insgesamt zwischen 3.000 € und 3.400 € eingespart, was im Wesentlichen auf die leichtere Leitbodenart zurückzuführen ist. Demgegenüber stehen Schlämmanalysekosten für den Gesamtschlag je nach Anzahl der Korngrößenfraktionen von 735,- € bzw. 1260,- €. Die Bodenartableitung auf Basis von Ton oder von Ton & Schluff braucht eine Schlämmanalyse auf 3 Korngrößenfraktionen (Sand, Schluff, Ton). Für eine Bodenartableitung aus der Summe von Ton und Feinschluff ist auf 5 Korngrößenfraktionen (Sand, Grobschluff, Mittelschluff, Feinschluff und Ton) zu schlämmen. Die Kosten der Schlämmanalysen-Ergebnisse relativieren sich zusätzlich durch ihre lange Gültigkeit von 30 Jahren und mehr. Liegen Schlämmanalysenergebnisse vor, braucht der Praktiker nicht noch zusätzlich in eine Fingerprobe zu investieren. Die Bodenartbestimmung nach Fingerprobe verursacht ebenfalls Arbeitskosten, die je nach Untersuchungslabor entweder in den Bodenuntersuchungskosten verschlüsselt mitenthalten oder gegen Aufpreis zu erhalten sind. Außerdem sind nach Schlämmanalyse auch in den Folgejahren die Erhaltungsdüngungs- oder Aufdüngungsmengen bei den bodenartabhängigen Nährstoffen aufgrund der leichteren Leitbodenart niedriger anzusetzen.

Für die Praxis ist die fehlende eindeutige Bodenartzuzuordnung unbefriedigend. Auf Nachfrage beim VDLUFA, welcher Schlämmanalysen-Ansatz bei der zur Bodenartableitung zu bevorzugen ist, wurde Tongehalt und Schluffgehalt genannt. Dieser Ansatz ist im OFR-Projekt für die Umsetzung der teilflächigen Grunddüngung der Standard geworden.

### Parallele Prüfung der Bodenart

Aufgrund der Bodenartergebnisse nach Fingerproben im Vergleich zur Schlämmanalyse stellte sich die Frage, ob die Fingerprobe grundsätzlich zu einer höheren Bodenartgruppe und einer Überschätzung des Düngedarfs führt. Daher wurden 2015 Bodenproben zur parallelen Fingerprobe an ein Fremdlabor gegeben. Der Betrieb hat nachgehend zu den Erkenntnissen aus dem OFR-Projekt jährlich einen Teil seiner Betriebsschläge im intensiven 1 ha-Raster beproben, untersuchen und schlämmen lassen. Dafür arbeitete er mit denselben Dienstleistern wie im OFR-Projekt zusammen. Aus der Beprobung 2015 wurden Übelsberg, Hasenberg und Hohenkamp für die parallele Bodenartbestimmung mittels Fingerprobe ausgewählt. Das OFR-Projekt nutzte sie bei Bedarf als Ausweichschläge. Für jede Teilfläche gab es ein Bodenartergebnis nach Schlämmanalyse [Ton&Schluff] und nach Fingerprobe vom Projektdienstleister sowie ein Bodenartergebnis nach Fingerprobe von einem Fremdlabor. Wie schon bei den Projektschlägen zeigte sich auch bei den Ausweichschlägen lehmiger Sand als Leitbodenart nach Schlämmanalyse.

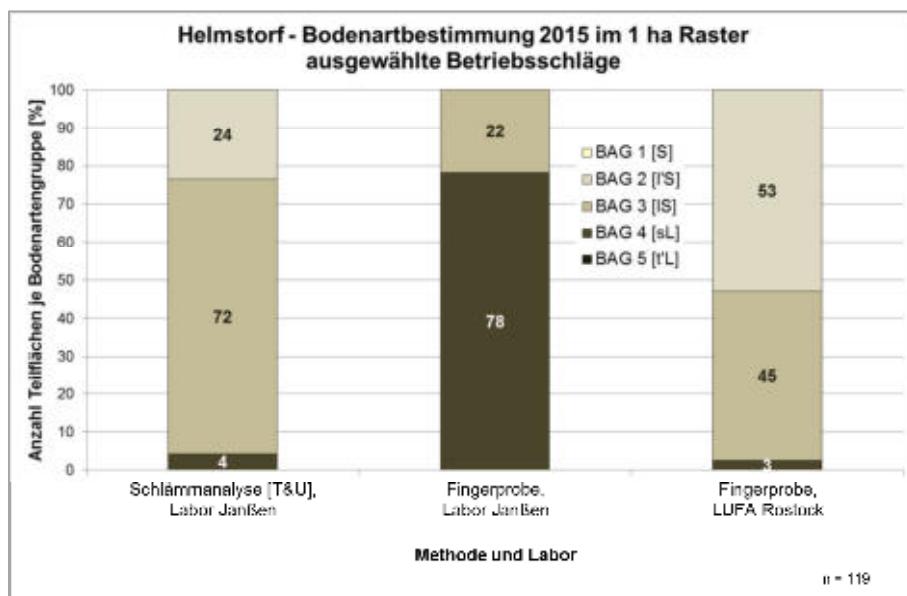


Abb. 11: Eine Fingerprobe kann die Bodenart verglichen mit der Schlämmanalyse über- oder unterschätzen.

Der Abb. 11 sind die Anteile der einzelnen Bodenarten an den insgesamt 119 Teilflächen für die jeweilige Bodenartbestimmung zu entnehmen. Auf der Ebene der einzelnen Teilfläche fallen die Abweichungen stärker aus als es in einer zusammenfassenden Betrachtung deutlich wird.

Nur für insgesamt 6 % der Teilflächen ergibt sich nach Schlämmanalyse sowie nach Fingerprobe Labor Janßen und nach Fingerprobe LUFA Rostock dieselben Bodenarten. Dagegen ergeben sich auf 30 % der Teilflächen drei verschiedenen Bodenarten für dieselbe Teilfläche. Hier führen die Bodenartbestimmung nach Fingerprobe Labor Janßen, Fingerprobe LUFA Rostock und Schlämmanalyse jeweils zu einem anderen Ergebnis.

Beim Vergleich der Bodenartergebnisse nach Schlämmanalyse und nach Fingerprobe Labor Janßen weicht in 87 % der Fälle die Bodenart ab. Vorwiegend ergeben sich nach Fingerprobe schwerere Bodenarten. Das führt bei den bodenartabhängigen Nährstoffen zu überschätzten Düngemengen.

Zwischen Bodenart nach Schlämmanalyse und Fingerprobe LUFA Rostock weichen auf 38 % der Teilflächen die Bodenart voneinander ab. Dabei wird nach Fingerprobe die Bodenart in der Regel unterschätzt. Aufgrund der Unterschätzung der Bodenschwere werden sie unterdüngt. Rechnerisch ergibt sich beim Vergleich dagegen nur eine Differenz von 29 %.

In der Mehrzahl weichen die Bodenartenergebnisse nach Fingerprobe (Labor Janßen bzw. LUFA Rostock) um eine Bodenart vom Ergebnis nach Schlämmanalyse ab, vereinzelt auch um zwei Bodenarten.

Tab. 8 zeigt für die Gesamtfläche der ausgewählten Betriebsschläge und eine 3-jährige Fruchfolge die Unterschiede bei den Nährstoffmengen und -kosten, die sich aus der unterschiedlichen Bodenarteinschätzung ergeben. Die Fingerprobe beim Fremdlabor führt bei den bodenartabhängigen Nährstoffen zu einem deutlich niedrigeren Düngebedarf gegenüber der Fingerprobe beim Projektlabor sowie zu einem niedrigeren Bedarf als bei der Bodenartbestimmung nach Schlämmanalyse.

Tab. 8: Düngebedarf und Nährstoffkosten paralleler Fingerproben im Vergleich zur Schlämmanalyse

Methode / Labor	Düngebedarf [kg gesamt] *				Nährstoffkosten [€ insgesamt] **				
	P2O5	K2O	MgO	CaO	P2O5	K2O	MgO	CaO	Summe
Fingerprobe, Labor Janßen	29.987	20.666	16.565	320.086	22.790	10.953	12.920	19.205	65.868
Fingerprobe, LUFA Rostock	29.987	6.236	9.395	155.172	22.790	3.305	7.328	9.310	42.773
Schlämmanalyse [T&U], Labor Janßen	29.987	8.269	10.802	197.313	22.790	4.383	8.425	11.839	47.436

\* BU 2015, 1 ha-Raster, 108 ha, 119 Teilflächen, RiW DG SH13, RAW 45 - WW 97 - GW 98 dt/ha

\*\* 0.76 €/kg P2O5, 0.53 €/kg K2O, 0.78 €/kg MgO, 0.06 €/kg CaO

Eine direkte Überprüfung von Schlämmanalysenergebnissen in gleicher Weise wie bei der Fingerprobe ist im OFR-Projekt aus Kostengründen nicht erfolgt. Indirekt hat es sie jedoch gegeben. Aus Kapazitätsgründen wurden zwei Projektschläge von einem Partnerlabor des eigentlichen Projektlabores geschlämmt. Bei beiden Laboren mit den jeweils durch sie geschlämmten Schlägen hatte sich die leichtere Leitbodenart IS sowie eine Bodenartendifferenzierung im Vergleich zur entsprechenden Fingerprobe ergeben.

### Beprobungsintensität

Die Beprobungsintensität beeinflusst die Probenahme- und Bodenuntersuchungskosten und ist neben den Nährstoffen ein wesentlicher Kostenfaktor. Welchen Einfluss ein größeres Probenraster auf die Bodenart haben kann, die unter anderem bei Kalium, Magnesium und Kalk die Nährstoffkosten mitbestimmt oder ob eine Teilfläche repräsentativ für alle Teilflächen derselben Bodenart beprobt werden kann, soll im Folgenden gezeigt werden.

Um einen Eindruck zu erhalten, wie unterschiedlich die Bodenartenverteilung bei unterschiedlicher Rastergröße ausfällt, wurde im Rahmen der Klärschlammbeprobung 2015 von zwei Projektschlägen separate Proben für eine Schlämmanalyse nach Ton & Schluff im 3 ha Raster gezogen. Die Auswahl fiel auf Basis des 1 ha-Rasters auf den heterogensten sowie den homogensten Projektschlag (Abb. 12.). Auf dem heterogenen Schlag Dwerjahren geht durch das 3 ha Raster Varianz in der Bodenart verloren. Insgesamt mitteln sich hier im größeren Raster die leichteren Bodenarten weg. Dagegen zeigt sich auf dem homogenen Schlag Kortenkamp im größeren Raster etwas Varianz in der Bodenart. Außer der bereits bekannten Bodenart lehmiger Sand wurde im 3 ha Raster auch der leichtere anlehmige Sand gefunden. Die Leitbodenart nach Schlämmanalyse ist aber auf beiden Schlägen im 1 ha sowie im 3 ha Raster der lehmige Sand.



Abb. 12: Bodenarten nach Schlämmanalyse [T&U] im 1 und 3 ha Raster auf den Projektschlägen Dwerjahren (links) und Kortenkamp (rechts).

Allein schon auf Basis der unterschiedlichen Rastergrößen und den damit verbundenen Bodenarten und deren räumlicher Verteilung würde jeder Schlag nach Richtwerten abhängig vom Raster unterschiedlich gedüngt werden. Es liegt in der Entscheidung des Landwirts, wie differenziert er seine Pflanzenbestände düngen und ernähren möchte. Ein intensiveres Probenraster bedingt für dieselbe Gesamtfläche höhere Probenahme- und Bodenuntersuchungskosten. Standorte mit weniger ausgeprägter Heterogenität (Bodenartenwechsel auf kurzer Distanz) brauchen aus pflanzenbaulichen Gründen ggf. nicht die intensive

Beprobungsdichte und können nicht zuletzt auch wegen der Probenahme- und Bodenuntersuchungskosten auf ein standortangepasstes Raster von 3 bis 5 ha gehen.

Im Zusammenhang mit Precision Farming wurde außerdem zur Reduktion der Verfahrenskosten eine Reduktion der Probenanzahl für die teilflächige Grunddüngung auf Basis gleicher Bodeninformationen diskutiert (z. B. EM38 oder Bodenart). Zur Ermittlung des teilflächigen Nährstoffbedarfs sollte deshalb nur eine Teilfläche beprobt und deren Hauptnährstoffgehalte analysiert werden. Die Ergebnisse sollten repräsentativ für alle Teilflächen mit derselben Bodeninformation sein. Abb. 13 zeigt das 1 ha-Raster vom Dwerjahren. Alle Teilflächen mit der Bodenart IS enthalten den Magnesium-Bodengehalt sowie die Einstufung der jeweiligen Teilfläche in die bodenartabhängige Magnesium-Gehaltsklasse nach Richtwerten. Anhand dessen soll beispielhaft deutlich gemacht werden, welche Konsequenzen eine eingeschränkte Beprobung für die Düngung hat. Nach Richtwerten liegt beispielsweise für Weizen (97 dt/ha) der Nährstoffbedarf bei der Bodenart lehmiger Sand und bei einem Bodengehalt von 12 mg Mg bei 62 kg MgO/ha und bei einem Gehalt von 25 mg Mg bei 0 kg MgO/ha. Wird nur eine Teilfläche beprobt und es ist beispielsweise zufällig die mit 25 mg Magnesium-Gehalt, würden alle Teilflächen mit lehmigen Sand keine Magnesiumdüngung erhalten. Die Mehrzahl der Teilflächen wäre unterdüngt, weil ihre Bodengehalte deutlich niedriger liegen. Durch eine Einschränkung der Probenintensität geht nicht nur das pflanzenbauliche und wirtschaftliche Differenzierungspotenzial verloren, sondern es kann zusätzlich zu einer Fehldüngung der Teilflächen aufgrund einer nicht repräsentativen Stichprobe kommen. Außer Magnesium betrifft das auch Phosphat, Kalium und Kalk.

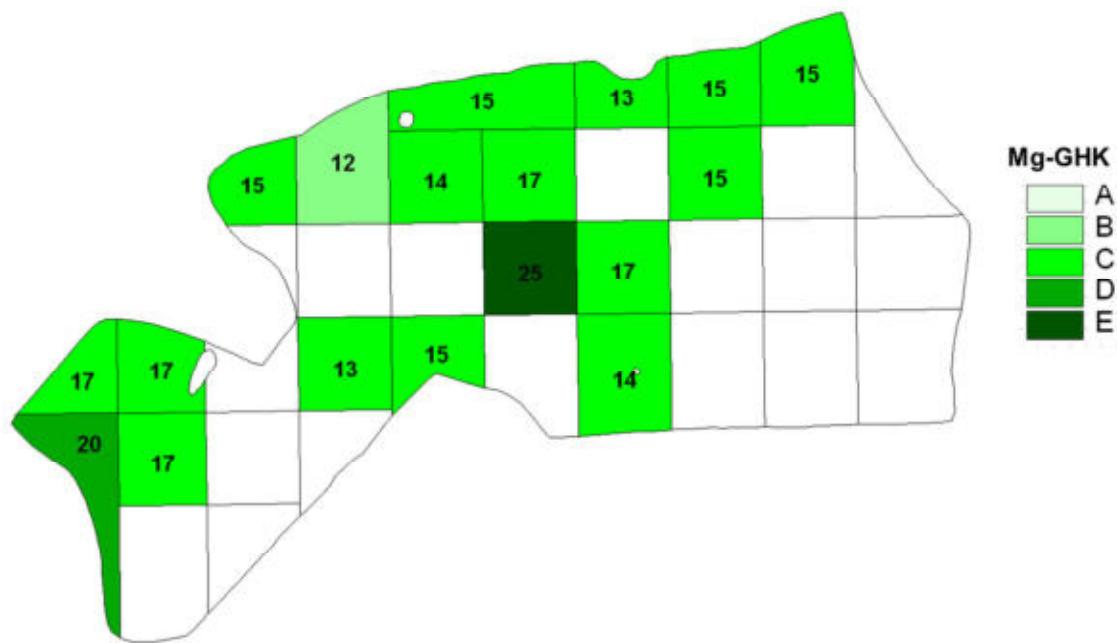


Abb. 13: Selbst bei identischer Bodenart IS variieren die Nährstoffgehalte von Teilflächen.

- Auf heterogenen Standorten sollte eine Schlämmanalyse zur genauen Bodenartbestimmung zumindest orientierungsweise in Betracht gezogen werden.
- Bei Bodenartbestimmung mittels Schlämmanalyse auf 3 Korngrößenfraktionen schlämmen [Ton, Schluff, Sand] und nach VDLUFA die Bodenart nach Ton- und Schluffgehalt [Bodenartendreieck] ableiten.
- Eine unsicher bestimmte Bodenart führt bei Kalium, Magnesium, Kalk entweder zu unnötigen Nährstoffkosten oder zu unzureichender Nährstoffversorgung.
- Durch ein größeres Probenraster gehen auf einem heterogenen Standort Bodenartendifferenzierungen verloren.
- Die Wahl des Beprobungsrasters ist eine betriebsindividuelle Entscheidung.
- Die Beprobung nur einer Teilfläche als Stichprobe für alle Teilflächen mit derselben Bodenart bzw. derselben EM38-Klasse führt zu einer zufälligen aber nicht zu einer präzisen Grunddüngung.

## 6.2.3. Nährstoffuntersuchung und Düngedarfsberechnung

### Nährstoffuntersuchung

Die Bodenprobennahme und -untersuchung im OFR-Projekt lief zu allen Zeitpunkten mit denselben Dienstleistern. Darüber sollte z. B. ein Labor-Einfluss auf Analyseergebnisse für eine sichere Beurteilung von Effekten der teilflächenspezifischen Grunddüngung ausgeschlossen werden. Die Bodenprobennahme und -untersuchung erfolgte immer im Anschluss an die Ernte zu Projektbeginn in 2008, zur Halbzeit in 2012 und zum Abschluss in 2017. Einzige Ausnahme war das Schlämmen zweier Projektschläge, die aus Kapazitätsgründen zur Bearbeitung an ein Partnerlabor des Projektlabors vergeben wurden.

Das Projektlabor verwendete folgende Methoden für die Bodenuntersuchung, die grundsätzlich den Vorgaben der Richtwerte für die Düngung Schleswig-Holstein 2013 entsprechen:

Phosphat:	Doppelactat
Kalium:	Doppelactat
Magnesium:	Doppelactat
pH-Wert:	CaCl <sub>2</sub>
Humus:	Dumas
Bodenartbestimmung:	Fingerprobe klassische Schlämmanalyse nach C/N-Bestimmung, Carbonat herausgerechnet [nur 2012]

### Düngedarfsberechnung

Zu Projektbeginn gab es die Vorstellung, entsprechend eines Praxisbetriebes ein fertiges Gesamtpaket für die teilflächige Grunddüngung als Dienstleistung einzukaufen. Auf dieser Basis sollten nach Umsetzung mehrjähriger teilflächiger Grunddüngung Zwischen- und Abschlussbeprobung und -untersuchungen erfolgen, um am Ende ein Fazit zum Nutzen dieses Produktionsverfahrens ziehen zu können.

Das Gesamtpaket „teilflächenspezifische Grunddüngung“ bestand aus:

- Flächenerfassung (Schlagauswahl, Schlaggröße, geplante Fruchtfolge, Körnerträge der Fruchtfolgeglieder, organische Düngung)
- Rastererzeugung auf den Einzelschlägen
- Bodenprobennahme auf den Teilflächen
- Bodenuntersuchung auf Hauptnährstoffe
- Bodenartbestimmung mittels Fingerprobe
- Düngedarfsberechnung für eine 3-jährige Fruchtfolgemenge je Einzelnährstoff für die mineralische Düngung unter Einbeziehung der Zufuhr organischer Nährstoffmengen
- Streukartenerstellung je Schlag und Einzelnährstoff.

Bestandteil des Paketes war eine Beprobung im systematischen 1 ha-Raster, um auf heterogenen Standorten Unterschiede zwischen Teilflächen herauszuarbeiten und darauf entsprechend reagieren zu können (s. Abb. 8, S. 30). Im OFR-Projekt ging es darum, mögliches Potenzial neuer technisch-pflanzenbaulicher Verfahren zu identifizieren, weshalb eine differenzierte Grunddüngung im 1 ha-Raster erprobt wurde. D. h. für jede 1 ha-Rasterzelle wurde auf Grundlage ihrer Bodenuntersuchungsergebnisse eine Düngemenge je Hauptnährstoff berechnet.

2008 und 2009 wurden auf den Projektschlägen die Grundnährstoffe noch flächeneinheitlich ausgebracht. In den anschließenden Jahren wurde zunächst nach einem pragmatischen teilflächenspezifischen Ansatz seitens des Betriebes gedüngt. Dieser war zusammen mit seinem Betriebsberater in Anlehnung an die Richtwerte und aufgrund von praktischen Erfahrungen mit der einheitlichen Grunddüngung entwickelt worden.

Der projektseitig angedachte Dienstleister hatte eine Streukartenerstellung nach Richtwerten für die Düngung Schleswig-Holstein angeboten aber nicht real umgesetzt. Zur Projekthalbzeit stellte sich

überraschenderweise heraus, dass seine berechneten Düngemengen deutlich unter den Düngeempfehlungen der Richtwerte lagen. Tab. 9 zeigt am Beispiel Kalium, wie sich eine Düngung im 1 ha-Raster auf Basis drei unterschiedlicher Ansätze auf Teilflächenmengen und Mengenverteilungen auswirkt. Grundlage waren die Bodenuntersuchungsergebnisse 2008 vom Koppelschlag (20 ha). Berechnet wurde sein Düngebedarf für eine Fruchtfolge aus Winterraps (40 dt/ha), Winterweizen (90 dt/ha) und Winterweizen (85 dt/ha). Die konkreten Grundlagen für die Mengenberechnungen vom Dienstleister lagen nicht offen. Der pragmatische Ansatz vom Projektbetrieb sah für jedes Fruchtfolgeglied eine Düngemenge (kg Nährstoff/ha) je halber Gehaltsklasse vor. D. h. er enthielt Düngungsstufen. Die untere GHK C wurde auf 100 % Düngemenge gesetzt. Je schlechter die Gehaltsklasse war, umso größer waren die Zuschläge im Vergleich zur unteren GHK C und umgekehrt. Dagegen geben die Richtwerte je Bodengehaltswert und zusätzlich abhängig vom Humusgehalt, dem Körnertrag des Fruchtfolgeglieds und ggf. der Bodenart eine Düngemenge [kg/ha] vor (s. Abb. 14 und Abb. 15, S. 42).

Die 1 ha Teilflächen mit der schwächsten Nährstoffversorgung bekommen jeweils die höchsten Kaliummengen, die sich je nach Düngeansatz jedoch deutlich voneinander unterscheiden. Während die am schwächsten versorgten Teilflächen nach Dienstleiteransatz mit 145 kg K<sub>2</sub>O/ha gedüngt werden sollen, sind es nach Betriebsleiteransatz 307 kg K<sub>2</sub>O/ha und nach Richtwerten 271 kg K<sub>2</sub>O/ha. Beim Dienstleister ist in der höchsten Düngungsstufe mit 9,9 ha knapp die Hälfte des Schlages mit seiner höchsten Teilflächenmenge bedacht. Zufällig würden mit 3,4 ha knapp 20 % der Teilflächen nach Betriebsleiteransatz und nach Richtwerteansatz die jeweilige Kaliumhöchstmenge bekommen. Aus der jeweiligen Düngestufe mit ihrer Nährstoffmenge pro Hektar und ihrem Flächenumfang berechnet sich eine Stufenmenge. Aus den aufaddierten Stufenmengen ergibt sich die Gesamtmenge je Düngeschema. Jeder Ansatz hat eine unterschiedliche Stufenanzahl, je Stufe gibt es unterschiedliche Nährstoffmengen und jede Stufe geht mit unterschiedlichem Flächenumfang einher. Auf dem Schlag würden die Nährstoffmengen sowie ihre Verteilungen je nach Düngungsschema trotz identischer Bodenuntersuchungsergebnisse komplett anders aussehen. Insgesamt würde der komplette „Koppelschlag“ für seine 3-jährige Fruchtfolge nach Dienstleister-Ansatz 2.467 kg K<sub>2</sub>O erhalten. Der berechnete Düngebedarf liegt deutlich unter dem pragmatischen Betriebsleiteransatz mit insgesamt 4.613 kg K<sub>2</sub>O und den Richtwerten mit insgesamt 4.727 kg K<sub>2</sub>O.

Tab. 9: Düngebedarfsplanung nach unterschiedlichen Ansätzen für eine teilflächenspezifische Grunddüngung im 1 ha-Raster

Düngeschema nach					
Dienstleister MR Wagrien, Herr Liebemann *		Betrieb Helmstorf		RiW DG SH13 *	
kg K <sub>2</sub> O/ha	ha gesamt	Kg K <sub>2</sub> O/ha	ha gesamt	Kg K <sub>2</sub> O/ha	ha gesamt
145	9,9	307	3,4	271	3,4
103	10,1	236	11,8	262	0,7
		165	4,7	252	5,7
				242	2,4
				233	2,9
				200	4,0
				135	0,7
<b>Summe **</b>	<b>2.467</b>	<b>Summe **</b>	<b>4.613</b>	<b>Summe **</b>	<b>4.727</b>

\* Fingerprobe Bodenuntersuchung 2008

\*\* Koppelschlag, 20 ha, 21 Teilflächen, RAW 40 – WW 90 – StWW 85 dt/ha, BU 2008

Der Landwirt muss sich in die jeweiligen Grunddüngungsansätze für die Düngebedarfsermittlung einarbeiten. Nur so erhält er einen Überblick, welcher Bodennährstoffgehalt welche Düngemenge je Hektar nach sich zieht und wie die Nährstoffverteilung auf dem Schlag aussieht. Nach Anwendung eines Düngeschemas kann er aus den Ergebnissen der Folgebeprobung und -untersuchung ableiten, ob ihn die Düngemenge seinem Ziel näher gebracht hat und ob der Ansatz gegebenenfalls nachzustimmen ist. Bei der Phosphatdüngung sind zusätzlich die Phosphat-Salden im Blick zu behalten.

Das Projektziel war eine Ausrichtung der teilflächenspezifischen Grunddüngung an den allgemein anerkannten Nährstoffempfehlungen aus „Richtwerte für die Düngung“. Durch den Dienstleisteransatz war das nicht gegeben, sodass die Düngebedarfsberechnungen und Streukartenerstellungen durch das Projektteam übernommen werden musste. Anfangs war zudem nicht absehbar, welche Nährstofffrachten sich unter praktischen Bedingungen zusätzlich zu den Einzelnährstoffdüngern ergeben. Dazu zählte z. B. Unterfußdüngung mit DAP in der Direktsaat. Die war im 3. Projektjahr zur erforderlichen Verfahrensverbesserung implementiert worden. Diese Mengen wären nicht in den Dienstleisterberechnungen enthalten gewesen. Ein Herausrechnen war aber für eine eindeutige Beurteilung der Varianten zwingend erforderlich, andernfalls wäre unklar gewesen, ob Variantenunterschiede düngungs- oder variantenbedingt gewesen wären. Der Düngebedarf bei Phosphat und Kalium wurde jedes Jahr für jeden Schlag berechnet. Auf kurzfristige Fruchtfolgeumplanungen, z. B. ungünstige Herbstwitterung und Umwidmung von Raps- in Stoppelweizenflächen oder Auswinterungen von Kulturen, konnte düngungsplanerisch reagiert werden. Dienstleisterberechnungen für eine 3-jährige Fruchtfolge können dieses nicht leisten. Phosphat und Kalium wurden jährlich gestreut. Auch wenn nur wenige Teilstücke eines Schlages bedürftig waren, wurden diese entsprechend gedüngt.

Einbezogen wurde in die grundlegende Düngebedarfsberechnung:

- die Fruchtart bzw. das Fruchtfolgeglied (FFG)
- das durchschnittliche betriebliche Kornertragsniveau je FFG
- die Vorfrucht und ihre konstante Nährstoffrücklieferung über Ernterest
- der Bodennährstoffgehalt
- der Humusgehalt
- bei den bodenartabhangigen Nährstoffen zusätzlich die Bodenart nach Schlämmanalyse [Ton & Schluff].

Die beiden folgenden Abb. 14 und Abb. 15 zeigen beispielhaft für Phosphat und Kalium das jeweilige Differenzierungspotenzial im Düngebedarf nach Richtwerten. Die Differenzierung bezieht sich auf die jeweiligen Fruchtfolgeglieder und deren Kornertragshöhen auf dem Projektbetrieb. Abgebildet ist die Gehaltsklasseneinstufung der Bodengehalte sowie der Düngebedarf für Teilstücke mit 0 % bis 8 % Humus. Bei Kalium handelt es sich ferner um die Düngeempfehlung für die Bodenart IS. Die Grafiken vermitteln einen Eindruck, wie groß der Differenzierungsunterschied im Düngebedarf innerhalb einer Gehaltsklasse bzw. zwischen den Gehaltsklassen ist.

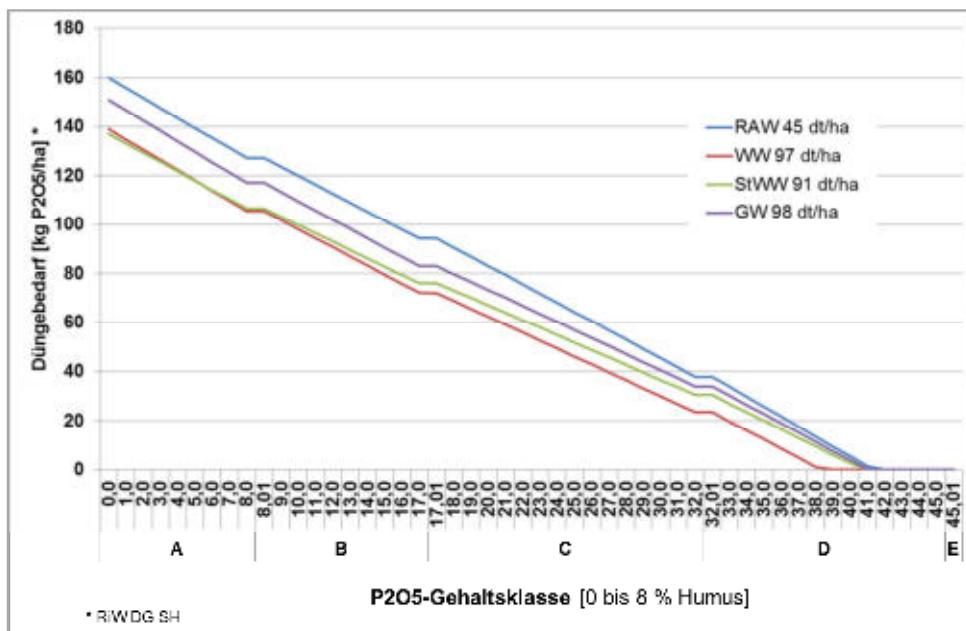


Abb. 14: Abhängig vom Phosphat-Bodengehalt ergibt sich ein teilflächenspezifischer Düngesbedarf für jedes Fruchfolgeglied.

Bei Kalium ergibt sich allein durch die Bodenarten ein anderes Differenzierungspotenzial als beim bodenunabhängigen Phosphat. Außerdem unterliegt der teilflächenspezifische Düngesbedarf für jedes Fruchfolgeglied stärkeren Unterschieden als beim Phosphat. Das hängt auch wesentlich mit den Nährstoffrücklieferungen über Erntereste zusammen. Besonders Weizen nach Raps profitiert von den hohen Kaliumrücklieferungen über die Erntereste vom Raps bzw. speziell auch auf mittleren und schweren Böden.

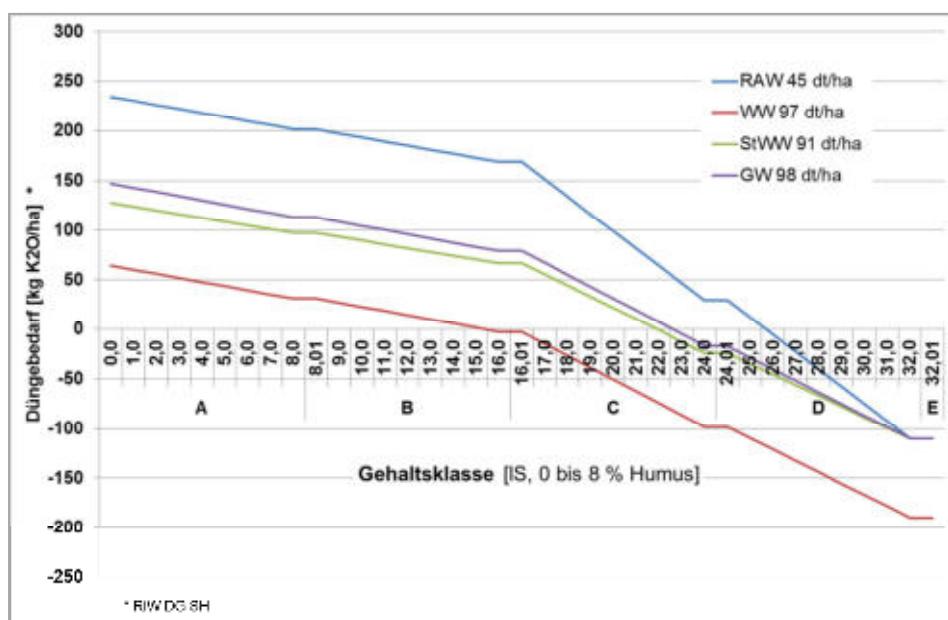


Abb. 15: Abhängig vom Kalium-Bodengehalt ergibt sich ein teilflächenspezifischer Düngesbedarf für jedes Fruchfolgeglied

Wie bei einheitlicher oder teilflächenspezifischer Düngung zur Fruchfolge aber auch bei jährlicher teilflächenspezifischer Düngung ist zu berücksichtigen, ob aufgrund der kalkulierten Düngermengen eine geplante Gabe zu teilen ist.

## 6.2.4. Düngemittel, Streukartenerstellung und Umsetzung der Grunddüngung unter praktischen Bedingungen

Für die Grunddüngung setzt der Projektbetrieb organische sowie mineralische Düngemittel ein. Als organischer Dünger kommt Klärschlamm zur Anwendung, er wird mit konstanter Menge ausgebracht. Der Betrieb minimiert hierüber seine Phosphat- und Kalkkosten. Mit der Wahl der Düngemittel bzw. der Düngemittelstrategie wird auch die Streukartenerstellung beeinflusst.

### Phosphat und Kalium

Ergänzend zum Klärschlamm streut Gut Helmstorf für die Phosphatversorgung teilflächenspezifisch Triplesuperphosphat (TSP) nach Streukarte. Für die Kaliumversorgung setzt der Betrieb über den gut streufähigen 7-40 Kalidünger ein, der ebenfalls via Streukarte appliziert wird. Die mit dem Kalium ausgebrachte Phosphatmenge wird wiederum vom originalen teilflächenspezifischen TSP-Bedarf abgezogen. D. h. die TSP-Streukarte ist eine Differenzmengenkarte. Abb. 16 zeigt beispielhaft, wie sich der Phosphatgesamtbedarf jeder Teilfläche aus den einzelnen mineralischen Düngergaben zusammensetzt. Da der verwendete Bredal-Großflächenstreuer nicht zurückschreiben kann, sind hier die jeweiligen berechneten Streumengen abgebildet, die in Summe der geplanten Düngemenge entsprechen.

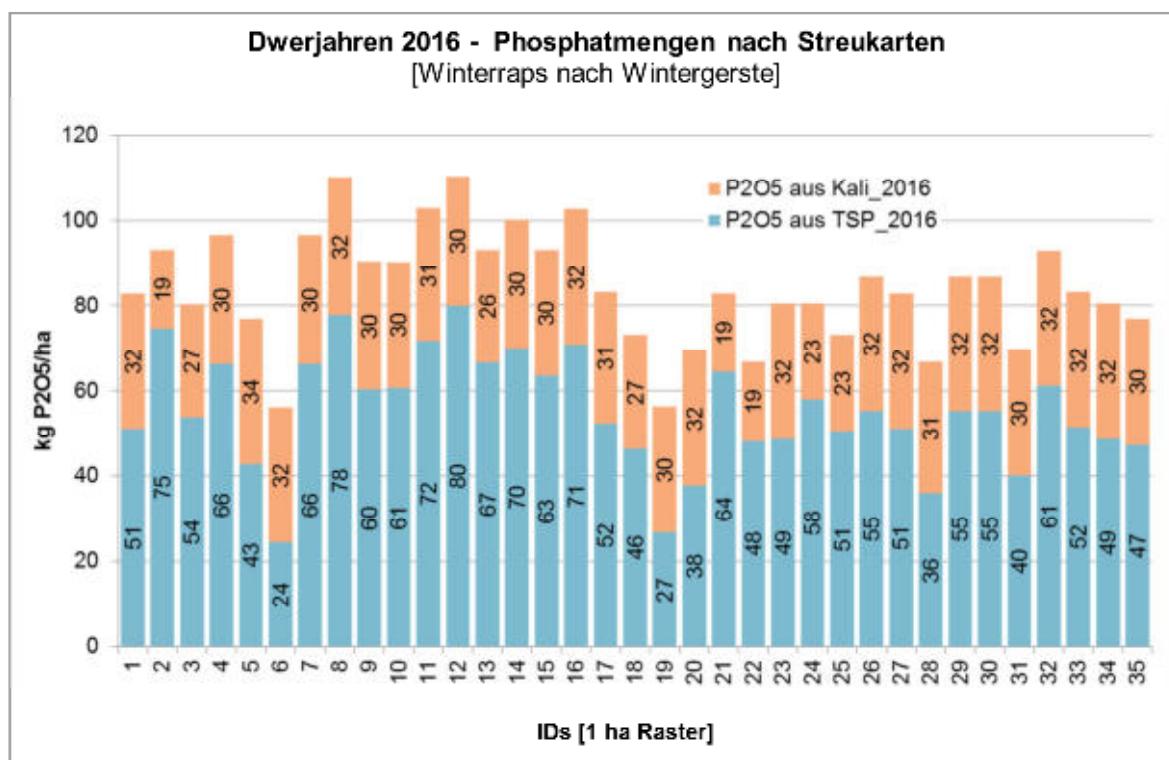


Abb. 16: Die je Teilfläche geplante Phosphatdüngemenge setzt sich aus unterschiedlichen Phosphatquellen zusammen.

Für die Anrechnung der Phosphatmengen aus dem Kaliumdünger gab es drei Beweggründe.

Zum einen sollte geprüft werden, welche nach allgemeinen Grundsätzen berechneten und gestreuten Düngesatzmengen welche Bodengehalte bei der Folgebodenbeprobung liefern und ob die Versorgung damit verbessert und homogenisiert werden kann. Mengenabweichungen gegenüber den empfohlenen Richtwerten sollten aus Projektsicht daher für die genannte Beurteilung vermieden werden.

Zum anderen sollten auf Betriebswunsch die Ausgaben für Nährstoffe auf das notwendige Maß begrenzt werden. Für den Schlag Zimmerkamp (37 ha, BU 2012) hätten sich kalibedingt für die Erntejahre 2014 bis 2016 je nach Teilfläche Phosphatmengenaufschläge auf die eigentliche Bedarfsmenge von 17 bis 52 kg P2O5/ha ergeben. Die Nichtanrechnung der Phosphatmengen aus der Kalidüngung hätten

Mehrausgaben von 1.420 € für TSP bei Phosphatkosten von 0,76 €/kg P205 verursacht. Für den Gesamtbetrieb von 1.000 ha entspricht das ca. 38.000 € unnötige Kapitalbindung.

Schlussendlich ist es für die Einhaltung des mittleren Phosphat-Saldos im Betrieb notwendig, die Phosphatmenge über Kalium im Blick zu behalten bzw. bei der Streukartenerstellung für den Phosphatdünger zu berücksichtigen.

Als weitere Phosphatkomponente kam ab Aussaat 2009 auf den Bodenbearbeitungsschlägen 1 dt/ha Diammonphosphat (DAP) als Unterfußdünger in der Direktsaat bzw. als Unterflurdünger in der Stripdrillsaat zum Einsatz. Die entsprechenden Mengen wurden auf den entsprechenden 1 ha-Raster-Teilflächen ebenfalls vom ursprünglichen TSP-Bedarf abgezogen. Durch das Prozedere wird so insgesamt nur die geplante mineralische Phosphatursprungsmenge appliziert. Die TSP-Streukartenmenge entspricht somit einer erweiterten Differenzkarte, da hier bereits die Phosphatmenge aus Kalium vom ursprünglichen TSP-Bedarf abgezogen worden ist.

2014 gab es die betriebliche Besonderheit, für die Stickstoffversorgung kurzfristig sehr günstig DAP (18 % N, 46 % P205) einkaufen zu können. Die flexible Betriebsgestaltung zur Optimierung des Betriebsergebnisses erforderte es, das DAP in die teilflächenspezifische Grunddüngung im Projekt zu integrieren. Dazu wurde der Phosphatbedarf je Teilfläche berechnet und die Phosphatmenge aus Kalidünger abgezogen. Die Schlagteilflächen mit dem niedrigsten P-Restbedarf wurde als Basis für eine konstante Düngermenge DAP genommen. Der Restbedarf aller anderen Teilflächen mit höherem Phosphatbedarf sollte über TSP gedeckt werden. Zum Teil ergaben sich daraus sehr niedrige Streumengen. Es trat die Frage auf, ob die geringen Mengen technisch überhaupt ausdosiert werden bzw. ob die noch sauber von der Streutechnik ausdosiert und verteilt werden können.

Schon in einem Jahr davor war auf einem Projektschlag beim Kalistreuen aufgefallen, dass das Bodenband vom Bredal-Streuer nicht bei jedem Teilflächenbedarf anlief. Auf diesem Schlag hatten nur 3 von 21 einen Kalibedarf. Dieser fiel unterschiedlich hoch aus. Bei der Teilfläche mit dem niedrigsten Bedarf lief das Bodenband nicht einmal an. Die Düngung der 3 Teilflächen war im Hinblick auf saubere Umsetzung bzw. Abdeckung des teilflächenspezifischen Düngebedarfs erfolgt. Im Praxisbetrieb würde der Betriebsleiter aus arbeitswirtschaftlichen Gründen darauf verzichten. Entweder gehen diese Teilflächen dann mit Fehlmengen in die spätere Bodenbeprobung zur Ermittlung der Nährstoffversorgung und des neuen Düngebedarfs ein oder der aus Effizienzgründen nicht ausgedüngte Bedarf wird im Folgejahr auf den anbaubedingten Bedarf aufgeschlagen und ausgestreut. Dieses Vorgehen steigert der Managementaufwand.

Die saubere technische Umsetzung der zum Teil geringen TSP-Ausbringmenge im DAP-Jahr wurde mit Firma Honermeier, Bredal-Zentralvertretung besprochen. Für das Ausbringen kleiner Düngermengen wurde eine Fahrgeschwindigkeit von > 12 km/h empfohlen. Eine hohe Fahrgeschwindigkeit soll sich positiv auf die Ausdosierung auswirken, weil das Bodenband bei höheren Geschwindigkeiten besser regelt. Außerdem wurde dazu geraten, den Durchgang der Schieberöffnung zu reduzieren. Bei eher geringen teilflächenspezifischen Ausbringmengen kann dann für eine bessere Verteilung die Bandgeschwindigkeit erhöht werden. Als technische Untergrenze in der Ausdosierung wurde 30 kg Dünger/ha ermittelt. Zur Bestimmung der Untergrenze hatte Firma Honermeier in seiner Firmenhalle Einstellungsversuche mit einem leeren neuen Streuer durchgeführt. Das Ausloten der technischen Untergrenze unter praktischen Bedingungen konnte aus Zeitgründen nicht im Projekt überprüft werden. Praktisch folgte aus den Empfehlungen, dass bei der Streukartenerstellung alle Teilflächen mit einem Bedarf von weniger als 30 kg TSP/ha respektive 14 kg P205/ha auf 0-Bedarf gesetzt wurden. In Abb. 17 sind beim TSP noch die teilflächenspezifischen Kleinstmengen von 5 bis 14 kg P205/ha enthalten. In Praxis wurden sie aus oben beschriebenen Gründen jedoch im aktuellen Jahr nicht ausgebracht. Sie wurden aber im Folgejahr auf dessen jahresspezifische Teilflächenmengen aufgeschlagen.

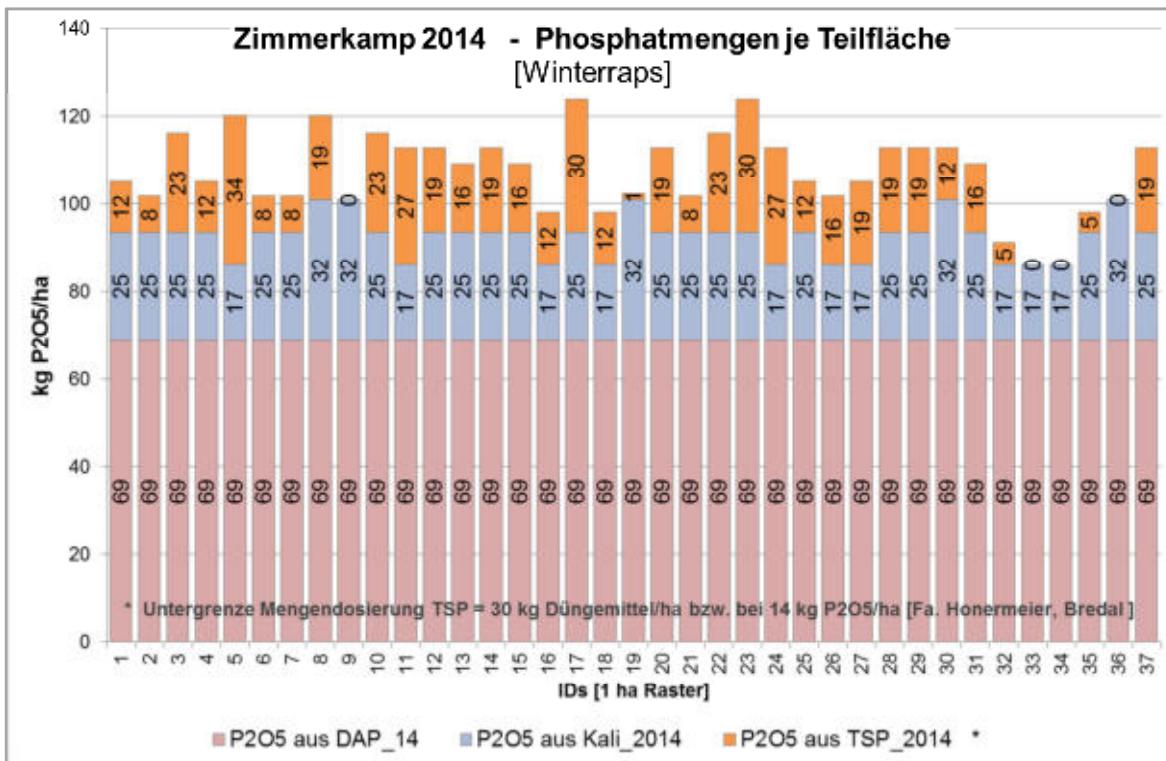


Abb. 17: Technisch nicht realisierbare Teilflächenmengen von weniger als 14 kg P2O5/ha wurden auf den Streubedarf des Folgejahres übertragen.

Unter Praxisbedingungen ist durchaus zu hinterfragen, ob das noch handhabbar und sinnvoll ist. Dieses betrifft zum einen Betriebsleiter, die dieses alles selber machen. Diese Frage ist aber auch insbesondere dann zustellen, wenn man in diesem Bereich mit Dienstleistern arbeitet. Was bekommt man an Besonderheiten noch gegenüber dem Auftragnehmer vermittelt und wie muss man sich dafür strukturieren.

### Magnesium

Eine Magnesiumgrunddüngung über den Boden blieb vom Betrieb zunächst weitestgehend unberücksichtigt. Sie wurde auch mangels verfügbaren Düngers nicht als vordergründiges Ziel erachtet. In allen Kulturen wird jedoch regelmäßig Bittersalz (16 % MgO, 13 % S) eingesetzt. Die 10 bis 15 kg Bittersalz pro Hektar und Anbaujahr werden von Herbst bis zur Abschlussbehandlung verbunden mit Pflanzenschutzmaßnahmen appliziert.

Reine Magnesiumdünger für die Grunddüngung sind nicht verfügbar. Somit bleibt der Praxis nur die Nutzung von Mehrnährstoffdüngertypen mit einem Magnesiumanteil, z. B. magnesiumhaltige Kalke oder Kieserit für die teilflächenspezifische Magnesiumdüngung über den Boden. Aus pflanzenbaulicher Sicht war wegen der hohen pH-Werte 2008 die Überlegung, magnesiumreiche, wenig reaktive Kalke oder Kieserit einzusetzen, um die Bodenreaktion möglichst wenig durch die Magnesiumdüngung zu beeinflussen. Drei Ansätze für die teilflächenspezifische Magnesiumbedarfsdeckung schienen möglich, davon wurde einer praktisch angetestet:

- Magnesiumhaltiger Kalk
- Kieserit
- Kieserit-Vorlage und Mg-Kalk zur Ergänzung

Ziel war es u. a. die teilflächenspezifische Magnesiumversorgung kostengünstig über einen magnesiumreichen Kalk zu organisieren. Das ließ sich technisch jedoch nicht umsetzen. Aufgrund des ausgewählten Kalkdüngertyps (28 % CaO, 18 % MgO, 40 % Reaktivität) ergaben sich in den Streukarten Kalkmengen zwischen 3,4 dt/ha und 6,7 dt/ha. Die Kalkmengen zur Deckung des MgO-Bedarfs sind relativ gering

verglichen mit denen bei der reinen Kalkung. Ein sauberes Ausdosieren vom Kalk mittels Großflächenstreuer war zu dem Zeitpunkt nicht möglich, sodass alle geplanten Flächen schlussendlich einheitlich gedüngt wurden. Offen ist, ob es an der damaligen Beschaffenheit des Kalkdüngers und/oder an den geringen Kalkmengen lag. Aus Zeitgründen konnte dieses jedoch nicht weiterverfolgt werden. Es gibt Hinweise, dass Magnesium aus Kalk gegenüber dem aus Kieserit kaum oder nur schwer zur Wirkung kommt. Die betrieblichen Daten zeigen dagegen höhere Magnesiumgehalte auf den Zupachtflächen. Der Betriebsleiter bringt die höhere Magnesiumversorgung dieser Flächen mit der Düngungsstrategie der verantwortlichen bzw. vorherigen Betriebsleiter in Verbindung. Vermutet wird, dass diese langjährig bzw. magnesiumhaltige Kalke zur Kalkung eingesetzt haben. Auf dem Projektbetrieb gehörte dagegen langjährig der Einsatz hochreaktiver Kalke zur Kalkstrategie, was sich vermutlich in den niedrigeren Bodengehalten auf den eigenen Flächen widerspiegelt.

Als Alternative zur Magnesiumdüngung trat im Projekt überlegungsseitig auch Kieserit (25 % MgO, 20 % S) in den Fokus. Je nach Magnesium-Teilflächenbedarf wird eine gekoppelte Schwefelmenge ausdosiert, die sich unabhängig vom S-Bedarf ergibt. Dadurch sind Schwefelüber- sowie Schwefelunterversorgung von Teilflächen möglich. Die Abb. 18 zeigt auf Basis der Magnesiumbodengehalte 2012, dass bei Winterrapsanbau am Standort nur 29 % der Teilflächen eine bedarfsgerechte Schwefelmenge über Kieserit-Einsatz zur teilflächigen Magnesium-Bedarfsdeckung bekommen. Auf 30 % der Teilflächen wird Geld investiert, das mit hoher Wahrscheinlichkeit ohne wirtschaftlichen Rückgewinn bleibt. Und auf 41 % der Teilflächen besteht wegen geringerer Schwefelmengen die Möglichkeit von potenziellen Mindererträgen. Da nach Richtwerten insgesamt ein höherer Magnesiumbedarf besteht bzw. auch alle Teilflächen einen Magnesiumbedarf haben, wird der Schwefelbedarf aller Teilflächen bei der Magnesiumdüngung mittels Kieserit zumindest anteilig gedeckt.

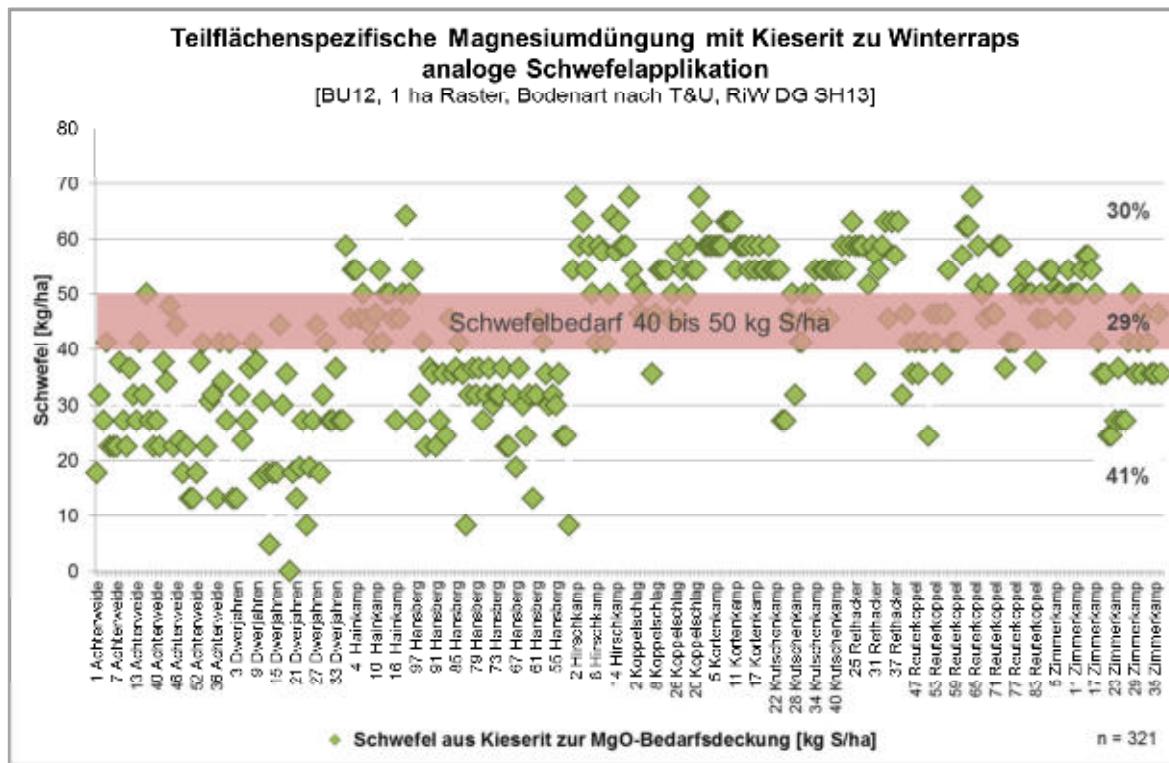


Abb. 18: Kieserit zur teilflächigen Magnesiumversorgung bei Raps und gekoppelte bedarfsunabhängige Schwefelmengen.

Dieses Szenario trifft zu, wenn der Magnesiumbedarf jährlich für das aktuelle Fruchtfolgeglied berechnet wird. Eine Fruchtfolgedüngung von Magnesium für beispielsweise eine 3-jährige Fruchtfolgerotation mit Kieserit würde beim Schwefel die Situation verschärfen. Für eine Kieseritdüngung war umsetzungstechnisch der AGT-Exaktstreuer angedacht. Darüber sollte im Vergleich zum Schleuderstreuer eine gleichmäßige Schwefelverteilung je 1 ha-Rasterzelle sichergestellt werden (s. Abb. 88, S. 140). Jedoch sind die Kieseritmengen bereits bei Magnesium-Bodengehalten, die der Mitte der GHK

entsprechen, mit 3,8 dt Kieserit/ha vergleichsweise hoch. Aus der Stickstoffdüngung liegen praktische Erfahrungen zu so hohen Düngermengen vor (s. S. 105). Die Fahrtgeschwindigkeit ist für eine saubere Ausdosierung zu senken und die Flächenleistung halbiert sich. Eine schwächere Versorgung müsste aufgrund noch höherer Düngermengen je Hektar zu noch niedrigeren und praktisch nicht mehr vertretbaren Arbeitsgeschwindigkeiten, mit entsprechenden Flächenleistungen und Arbeitserledigungskosten führen.

Allerdings ist Kieserit eine relativ teure Option für die Magnesium-Versorgung. Selbst bei Rausrechnung des Schwefelanteils sind die Gesamtkosten bei derselben Magnesiumgesamtbedarfsmenge deutlich höher als bei magnesiumhaltigen Kalken. Jedoch soll das im Kieserit enthaltene Magnesium schnell wirksam sein verglichen mit dem von Kalken. Aus Nährstoffkosten- und Zeitgründen konnte der Ansatz allerdings praktisch nicht erprobt werden.

Als weitere Strategie zur Optimierung der Magnesiumdeckung war auch eine jeweils anteilige Magnesium-Deckung über Kieserit und magnesiumhaltigen Kalk diskutiert worden. Kieserit sollte jährlich und konstant entsprechend des Schwefelbedarfs der Kultur eingesetzt werden (Tab. 10). Das sichert die Schwefelversorgung und damit verbundene Erträge und vermeidet unnötige Schwefelkosten. Da hier nicht teilflächige gedüngt wird, könnte im Hinblick auf eine gute Schwefelverteilung für die flächeneinheitliche Applikation ein Schleuderstreuer eingesetzt werden. Alleine beim Raps wäre beim Exaktstreuereinsatz aufgrund der Ausbringmenge möglicherweise die Arbeitsgeschwindigkeit etwas zu drosseln.

Tab. 10: Jährliche und fruchtartbezogene konstante Schwefelmengen über Kieserit decken in 3 Jahren parallel einen Bedarf von 119 kg MgO/ha ab.

Fruchtfolge	Schwefeldeckung Kieserit konstant [kg S/ha]	Kieserit* [dt/ha]	Magnesium appliziert [kg MgO/ha]
Winterraps	45	2,25	56
Wintergetreide	25	1,25	31
Wintergetreide	25	1,25	31
Summe			119

\* Kieserit: 25 % MgO, 20 % S

Die mit Kieseritvorlage ausgebrachte Magnesiummenge sollte vom Magnesiumgesamtbedarf einer Teilfläche abgezogen und der Restbedarf durch magnesiumhaltigen Kalk als einmalige Gabe innerhalb der Fruchtfolge ausgebracht werden (Tab. 11). Je nach Restbedarf sowie Magnesiumgehalt des Kalkdüngertyps ergeben sich die entsprechenden Kalkstreuemengen z. B. beim Profi Mega zwischen 6,7 dt/ha und 1,3 dt/ha. Die Tabelle zeigt außerdem die Kostensparnis bei anteiliger Magnesiumbedarfsdeckung über magnesiumhaltigen Kalk im Vergleich zu kompletter Magnesiumdeckung über Kieserit. Der Profi Kombi Kalk mit 42 % CaO und 5 % MgO hat mit -3 €/ha bis -15 €/ha die niedrigste Kostensparnis gegenüber Kieserit aber die höchsten teilflächigen Düngermengen. Das fördert möglicherweise eine gute Verteilung mittels Schleuderstreuer, ist aber auch hinsichtlich der Ausbringungskosten insgesamt am teuersten.

Durch die Schwefel-Deckung über Kieserit könnte auch die typische Teilung der 1. Stickstoff-Gabe in 1a und 1b entfallen und nur noch zu einem Termin ausschließlich mit Stickstoff gedüngt werden. Vonseiten der Arbeitserledigung wäre die Veränderung jedoch weitestgehend kostenneutral. Denn die Schwefelversorgung bedarf einer zusätzlichen Durchfahrt und es bringt keinen entscheidenden Unterschied, ob dafür ASS oder SSA bzw. Kieserit genutzt wird. Aus Nährstoffkosten- und Zeitgründen konnte auch dieser komplette Ansatz praktisch nicht erprobt werden. Von Interesse wäre, welcher Kalkdünger bei welcher Streumenge noch gut von der Streutechnik verteilt werden kann. Daraus ergibt sich das realisierbare Einsparpotenzial, sofern eines vorhanden ist.

Tab. 11: Eine anteilige Magnesiumdeckung über Kalk reduziert ggf. die Magnesiumkosten im Vergleich zur kompletten Düngung über Kieserit.

Magnesium Gehaltsklasse	MgO-Bedarf 3 jährige Fruchtfolge [kg MgO/ha]	Kieserit für S in 3 j. FF und anteilige MgO-Deckung [kg MgO/ha]	Restbedarf zu decken über Mg-Kalk [kg MgO/ha]	Magnesium – Restbedarfsdeckung über Mg-Kalk									
				Kalkmengen[dt/ha]				Kostenvorteil durch Magnesium-Kalk[€/ha] **					
GHK B_Anfang	240	119	121	6,7	6,4	12,1	24,2	17,3	-71	-73	-53	-15	-41
GHK B_Mitte	192	119	73	4,1	3,8	7,3	14,6	10,4	-43	-44	-32	-9	-25
GHK C_Anfang	143	119	24	1,3	1,3	2,4	4,8	3,4	-14	-15	-11	-3	-8
GHK C_Mitte	95	119	-24										

\* - CaO-Gehalt, MgO-Gehalt, Kalkwert, Reaktivität jeweils in %

\*\* - Profi Mega 3,1 €/dt - Scharzfilder 2,9 €/dt- Profi Kombi 3,2 €/dt - Salzhemmendorfer 2,95 €/dt, incl. MgO und CaO-Kostenanteilen, Kieserit 0,76 €/kg MgO

In der Praxis wird mehrheitlich der Magnesiumbedarf durch die Verwendung von magnesium-haltigen Kalken bei der Kalkung gedeckt. Im Gegensatz zu dieser unspezifischen Deckung des Magnesiumbedarfs würde eine teilflächenspezifische Magnesiumdüngung mindestens eine zusätzliche Durchfahrt erfordern und dadurch zusätzliche Arbeitserledigungskosten generieren. Auch die Erstellung einer Magnesiumstreuakarte als Grundlage für die teilflächige Magnesiumapplikation kostet zusätzliches Geld. Zudem ist Kalk die kostengünstigste Magnesiumquelle. Offen ist, ob sich bei teilflächiger Kalkung mit Mg-Kalk weiterhin so einfach eine ausreichende Magnesiumversorgung organisieren lässt. Ggf. induziert so eine teilflächenspezifische Kalkung beim Magnesium einen teilflächenspezifischen Düngebedarf mit entsprechenden Durchfahrt- und Streukartenkosten. Unklar ist, inwieweit sich durch diese Umstände das wirtschaftliche Potenzial der teilflächigen Kalkung verringert, sofern es der Kalkung und nicht allgemein dem Magnesium selbst zugeschrieben werden muss.

## Kalk

Aufgrund der Klärschlamm-Kalk-Historie und damit verbundener hoher pH-Werte zu Beginn des OFR-Projektes kam in der 1. Projekthälfte kein Kalk zur Anwendung. Jedoch wurden anteilig aufgekalkte oder unaufgekalkte Klärschlämme für die Sicherung einer kostengünstigen Phosphatversorgung eingesetzt. Die Kalkung wurde vom Projektbetrieb ab der Projekthalbzeit aufgrund der gesunkenen pH-Werte sukzessive wieder aufgenommen. Außerdem kamen weiterhin gekalkte oder ungekalkte Klärschlämme zum Einsatz. Die CaO-Mengen aus Klärschlamm wurden mit dem CaO-Düngebedarf der jeweiligen Teilfläche verrechnet und für den restlichen CaO-Bedarf Kalk-Streuakarten erstellt. Die Abb. 19 zeigt den Kalkbedarf für einen 3-jährigen Anbau in Abhängigkeit vom pH-Wert bei einem Humusgehalt von bis zu 4 % und von der Bodenart der Ackerfläche. Ergänzend sind in die Grafik die kalkbedürftigen pH-GHK je Bodenart mit der Bezeichnung A, B, C eingefügt. In die Abbildung integriert sind außerdem die Anzahl Teileflächen je Bodenart und pH-Wert aus der Bodenuntersuchung 2012.

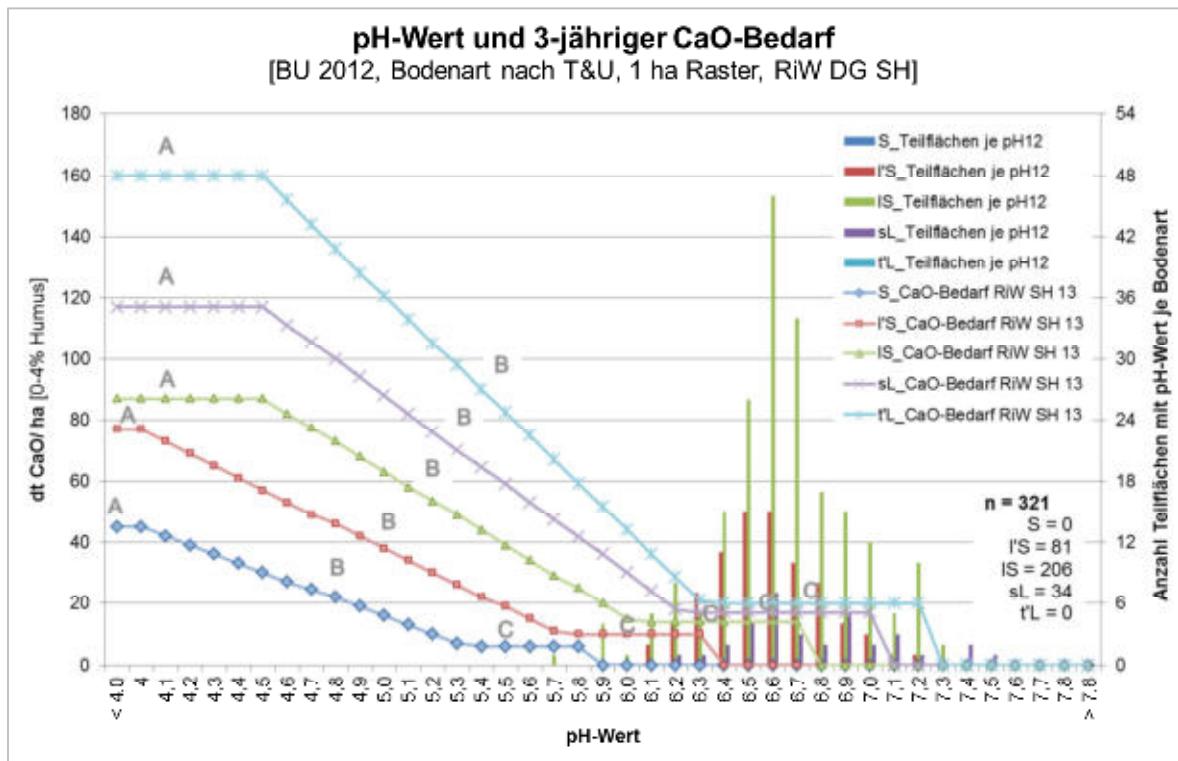


Abb. 19: Teilflächendifferenzierungspotenzial bei der Kalkmenge einer 3-jährigen Ackerbaufruchtfolge nach Richtwerten

Bei einigen Teilflächen lag die mit der Beschlämmung zugeführte CaO-Menge über dem CaO-Bedarf. In der Kalkung wurden zunächst kostengünstige hochreaktive magnesiumarme Filterkalke eingesetzt. In zwei Jahren gab es jedoch Probleme bei der teilflächigen Ausbringung des Filterkalkes. In einem Jahr ließ sich der Streuer aufgrund der Kalkbeschaffenheit nicht ordentlich in der Kalkmengen einstellen. Im anderen Jahr war der Kalk so feucht, dass wegen der ungünstigen Streufähigkeit bzw. Verteilung für die Projektschläge kurzfristig anderer Kalk beschafft wurde. Nur in einem Fall kam Mg-haltiger Kalk zur Deckung des Kalkbedarfs zum Einsatz. Der Kalkbedarf bestimmt dann die applizierte Magnesiummenge und nicht der Magnesiumbedarf.

In der Grunddüngung wurden Düngermengen und damit auch berechnete Teilflächenmengen teilweise in Einzeljahren oder auf Einzelschlägen in einem Jahr aufgrund von betrieblichen Belangen übersteuert. Z. B. schlechte Ernte 2011 Begrenzung des Zukaufs von TSP-Mengen aus Liquiditätsgründen, u. a. m. Prozentuale Reduktionen auf Gesamtmengen haben dazu geführt, dass schwächer versorgte Teilflächen, die absolut eine höhere Nährstoffmenge bedürfen, im Vergleich zu gut versorgten Teilflächen absolut auch mehr Menge abgezogen wurde. Dadurch gingen zwischen unterschiedlichen Teilflächen vorher mühsam ermittelte Düngemengenunterschiede zur Optimierung der Pflanzennährung und der Wirtschaftlichkeit verloren. D. h. ihre Düngemengen näherten sich an. Aus 100 kg/ha Teilfläche versus 30 kg/ha Teilfläche wurden bei 30%iger Mengenreduktion 70 kg/ha und zu 21 kg/ha. Die Aufwandmengendifferenz zwischen den beiden Teilflächen sank von 70 kg/ha auf 49 kg/ha.

- Eine teilflächenspezifische Grunddüngung im Betrieb sollte insgesamt gut durchdacht sein.
- Das bloße Einkaufen der Dienstleitung und dessen Anwendung reichen für dessen Gelingen nicht aus.
- Flexible Streukartenerstellung ermöglicht die Umsetzung kurzfristiger Bedarfsänderungen.
- Unter praktischen Bedingungen sind viele unterschiedliche Zufuhrquellen für einen Nährstoff möglich und können über Differenz-Streukarten berücksichtigt werden.
- Mehrnährstoffdünger in nährstoffspezifischer und teilflächiger Anwendung erschweren die Düngungsoptimierung insgesamt oder machen sie gar unmöglich.

## 6.2.5. Entwicklung der Nährstoffgehalte

Die erste Bodenbeprobung und –untersuchung erfolgte zur Statuserhebung nach der Ernte 2008. Der Bodenuntersuchung vorausgegangen war ein jahrelanges Ausbringen konstanter Nährstoff- bzw. Düngemittelmengen bzw. traf diese Verfahrensweise anteilig wegen noch nicht erhobener Daten bzw. aus Kapazitätsgründen auch für das erste und zweite Projektjahr zu.

Zur Projekthalbzeit wurde für die bestmögliche technische Umsetzung von teilflächenspezifischer Grunddüngung im 1 ha-Raster auf allen Schlägen das Probenraster an den Fahrgassen ausgerichtet (s. Abb. 85, S. 139). Über die gesamte Projektlaufzeit hatten Dwerjahren, Hainkamp, Kortenkamp und Zimmerkamp ein identisches Raster. Ein komplett neues Raster erhielten Hansberg, Krutschenkamp, Rethacker und Reuterkoppel. Bei den übrigen Schlägen gab es anteilige Rasteranpassungen, um die Bodenbearbeitungsvarianten getrennt voneinander beproben und untersuchen zu können. Durch die Schlämmanalyse der Teilflächen aus der Halbzeitbeprobung und der sukzessiven Bearbeitung der Schlämmanalysen lag ab Frühjahr 2014 für jedes 1 ha-Raster die konkrete Bodenart nach Ton & Schluff vor.

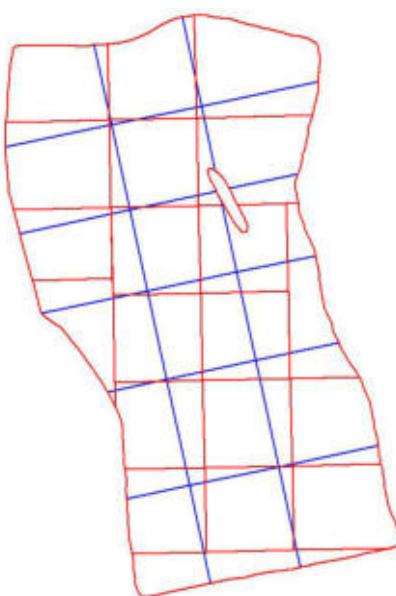


Abb. 20: Rethacker Grunddüngung im 1 ha-Raster. 2008 noch ohne (rote Linien) und ab 2012 mit kompletter Fahrgassenausrichtung (blaue Linien) des 1 ha-Rasters.

Nur auf Dwerjahren, Hainkamp, Kortenkamp und Zimmerkamp sind die Bodennährstoffgehalte je Teilfläche im Zeitverlauf vergleichbar. Aufgrund der anteiligen oder kompletten Rasterausrichtung zur Halbzeit ist das für die entsprechenden Schläge nicht der Fall. Dort können nur die Teilflächenergebnisse zur Halbzeit und zum Abschluss direkt mit einander verglichen werden. Abb. 20 zeigt für den Projektschlag Rethacker das systematische 1 ha-Raster vor und nach der Ausrichtung des Rasters an den Fahrgassenverlauf.

### Phosphat-Bodengehalte

Abb. 21 zeigt die Entwicklung der Phosphatnährstoffgehalte je Teilfläche und Untersuchungszeitpunkt. Die Phosphat-Bodengehalte der 321 Teilflächen schwanken in allen 3 Untersuchungsjahren bzw. unabhängig davon, ob zuvor eine flächeneinheitliche Düngung erfolgte wie noch in 2008 oder ob teilflächig gedüngt wurde. 2008 waren die Bodengehalte am niedrigsten. 2012 fielen sie dagegen je nach Teilfläche mehr oder minder höher aus. Grundsätzlich gab es auch 2017 noch einen weiteren Anstieg jedoch nicht mehr so stark wie im vorherigen Zeitraum bzw. mit ersten Teilflächen, die auch etwas unterhalb vorheriger Gehalte lagen. Auf dem Hansberg verharrten die Phosphatgehalte zwischen Halbzeit und Projektende auf ähnlichem Niveau. Rückläufig waren sie dagegen auf dem Krutschenkamp sowie

besonders auf der Achterweide. Aus betrieblichen Gründen war auf der Achterweide die Zufuhr an Phosphat insgesamt geringer ausgefallen.

Für alle unerwartet gab es aus betrieblichen Gründen 2017 Arbeitsspitzen, die eine Prioritätensetzung bei der Arbeitserledigung erforderlich machten. Insgesamt war es mit einem Aussetzen der Phosphatdüngung zur Ernte 2017 verbunden, dass betraf auch die Projektflächen. Inwieweit das das abschließende Bild zu den Phosphatbodengehalten beeinflusst, bleibt offen.

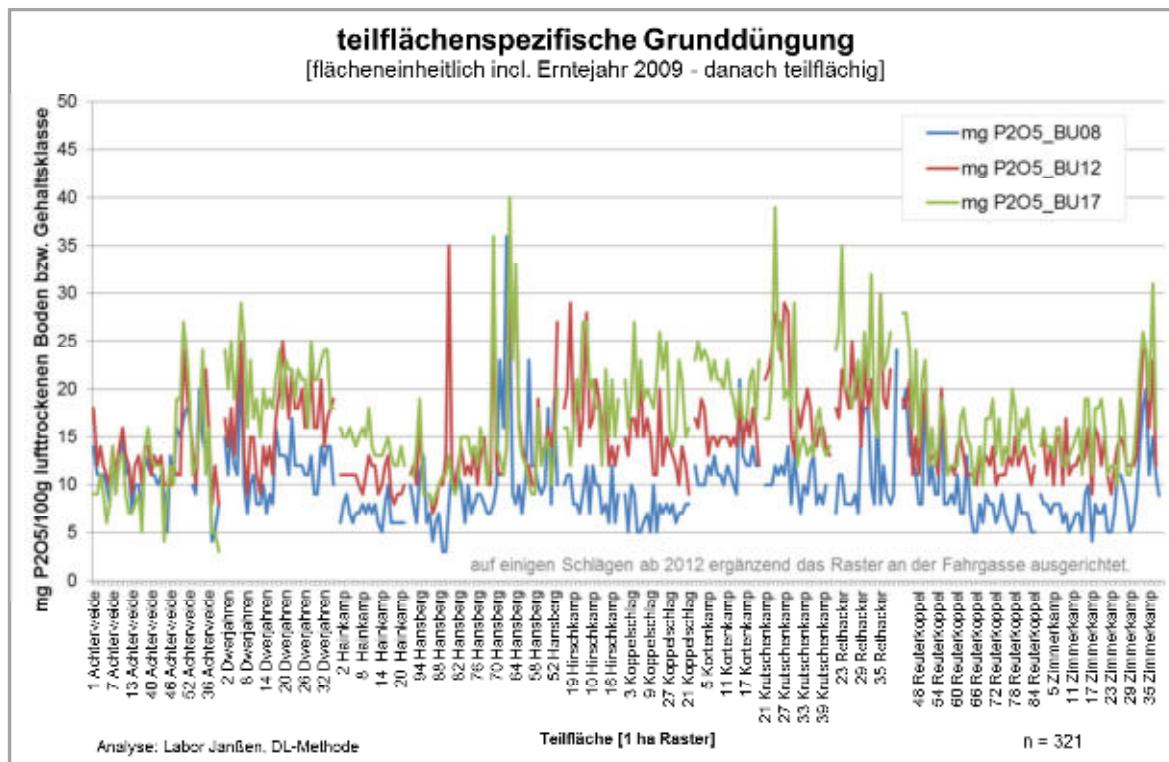


Abb. 21: Phosphatbodengehalte zu Projektbeginn, zur Halbzeit und zum Projektende

## Kalium-Bodengehalte

Beim Kalium gibt es zwischen den Teilflächen je Untersuchungszeitraum ähnlich wie beim Phosphat variierende Bodengehalte (Abb. 22). Die Kalium-Werte lagen nach vorheriger flächeneinheitlicher Applikation im Einstiegsjahr 2008 vorwiegend auf höherem Niveau als zur Halbzeituntersuchung in 2012. Zur Abschlussbeprobung in 2017 hatten die meisten Teilflächen wieder höhere Kaliumgehalte. Häufig lagern sie auch über denen des Ausgangsjahres 2008.

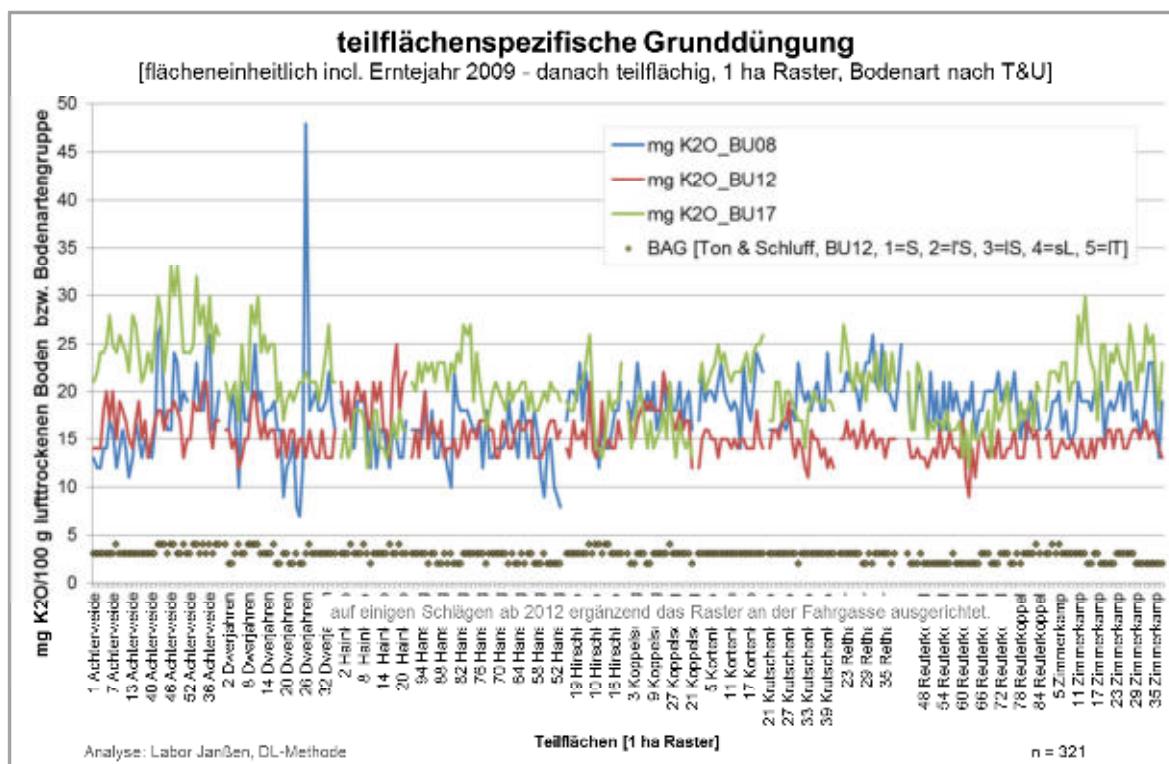


Abb. 22: Kaliumbodengehalte zu Projektbeginn, zur Halbzeit und zum Projektende.

## Magnesium-Bodengehalte

Es ist über den gesamten Projektzeitraum weder eine zielgerichtete einheitliche noch eine teilflächenspezifische Magnesiumdüngung erfolgt. Über Klärschlamm sind gekoppelt in der Mehrzahl der Schläge zwischen 30 bis 40 kg MgO/ha pro Projekthalbzzeit gefallen. Einzelne Schläge haben bis zu 50 kg MgO/ha andere nur 20 kg MgO/ha über den organischen Dünger erhalten. Gekalkte Schläge erhielten über den magnesiumarmen Filterkalk bis zu 30 kg MgO/ha. Über magnesiumhaltigen Kalk wurden bis zu 140 kg MgO/ha ausgebracht. Kalkbedingt ist in der zweiten Projekthälfte mehr Magnesium als Koppelprodukt gestreut worden. Die Mengen lagen aber insgesamt deutlich unter dem Bedarf.

Abb. 23 zum Magnesium zeigt die Bodennährstoffgehalte der Teilflächen.

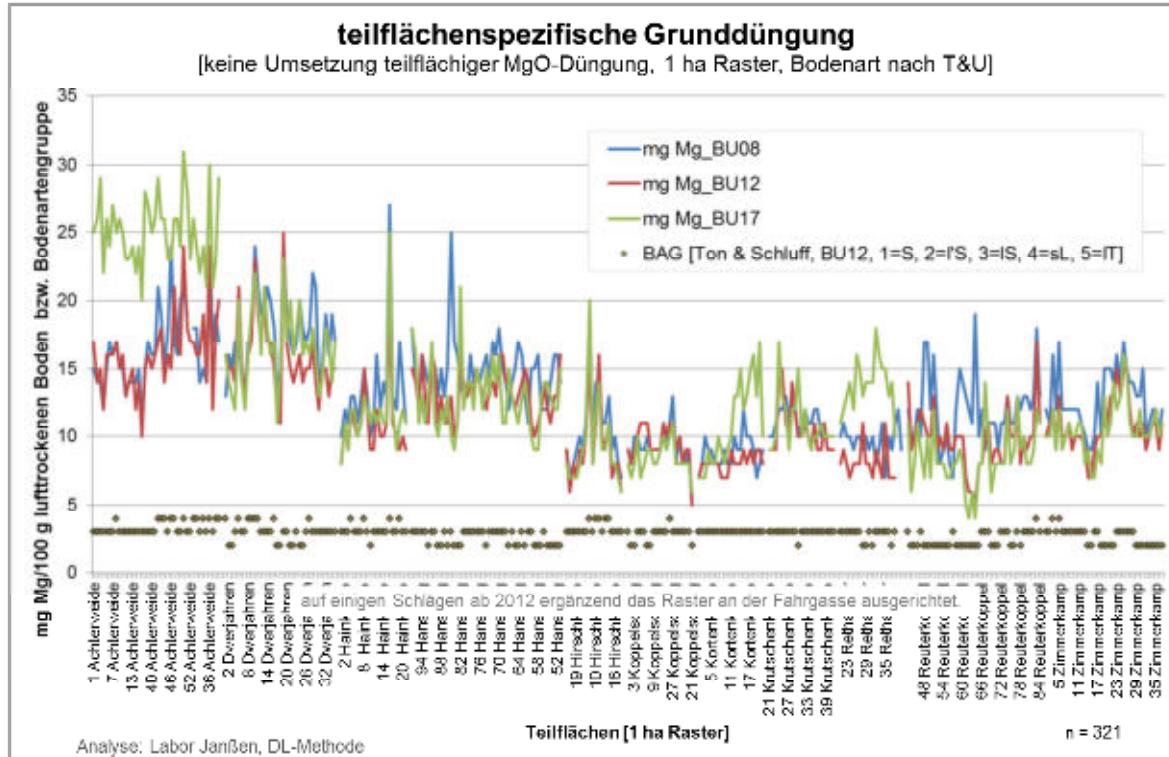


Abb. 23: Magnesiumgehalte im 1 ha-Raster – eine teilflächenspezifische Magnesiumdüngung konnte nicht umgesetzt werden.

Auffällig ist der Schlag Achterweide mit einer starken Zunahme des Magnesiumgehaltes seiner Teilflächen zwischen 2012 und 2017. Eine Zunahme von 10 mg Mg/ 100 g lufttrockenen Boden erfordert theoretisch eine Magnesiumdüngung von insgesamt 550 kg MgO/ha in 5 Jahren. Im Durchschnitt erfolgt eine Magnesiumabfuhr mit dem Korn von 20 kg MgO/ha und Jahr, also insgesamt 100 kg MgO/ha in 5 Jahren. Das verbleibende Saldo von 450 kg MgO/ha reicht theoretisch für einen Bodengehaltsanstieg von 10 mg Mg/100 g Boden aus. Mögliche Auswaschungsverluste sind in der Betrachtung nicht berücksichtigt.

Kieserit ist während der gesamten Projektlaufzeit nicht auf den Projektflächen zum Einsatz gekommen. Für 550 kg MgO/ha zur Deckung der Abfuhr und des Gehaltsanstieges wären 22 dt Kieserit/ha zu streuen gewesen oder alternativ 79 dt Kalk mit 7 % MgO/ha. Beides ist nicht erfolgt. Auch der Anstieg der Magnesiumgehalte auf Kortenkamp und Rethacker lassen sich nicht nachvollziehen.

In Ergänzung zu den abgebildeten Magnesiumgehalten der Teilflächen und ihren Veränderungen zeigt Abb. 24 eine angenäherte theoretische mittlere Bodengehaltsveränderung auf Schlagbasis bzw. auf die gesamte Projektphase und die beiden Halbzeiten bezogen. Die Bodengehaltsveränderungen in der zweiten Projekthälfte für die auffälligen Schläge Achterweide, Kortenkamp und Rethacker lassen sich anhand der Berechnungen nicht nachvollziehen.

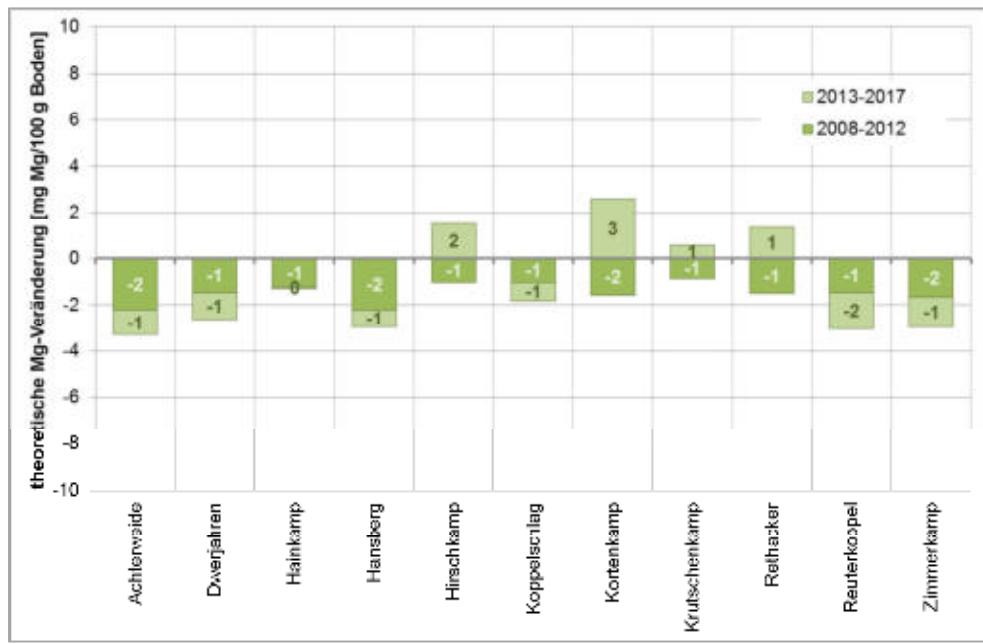


Abb. 24: Magnesium-Saldo und daraus abgeleitet theoretische Bodengehaltsveränderung.

## pH-Werte

Für die pH-Werte zeigte sich ein grundsätzlich anderes Bild als bei Phosphat und Kalium. Aufgrund der Klärschlamm- und Kalk-Historie waren 2008 die pH-Werte auf den Projektschlägen vergleichsweise hoch. 25 % der Teilflächen lagen bei pH-Wert von 7,0 sowie 25 % oberhalb von pH-Wert 7,0.

Zwischen 2008 und 2012 fand keine Kalkung statt. Anteilig wurden jedoch für die Phosphatversorgung gekalkte bzw. ungekalkte Klärschlämme gefahren. Die CaO-Zufuhr über gekalkte und ungekalkte Klärschlämme zwischen Projektbeginn und Projekthalbzeit lag je nach Schlag mit 800 bis 100 kg CaO/ha unterhalb empfohlener Erhaltungsmengen (Abb. 25). Für einen 5 Jahreszeitraum leitet sich nach Richtwerten für anlehmigen Sand 16,7 dt CaO/ha, für lehmigen Sand 23,3 dt CaO/ha und für sandigen Lehm 28,3 dt CaO/ha als Erhaltungsmenge ab. Die Voraussetzungen für ein Abschmelzen der hohen pH-Werte waren trotz der anteiligen CaO-Zufuhr über Klärschlamm gegeben. Nach Richtwerten wäre der Bedarf auf 0 gesetzt worden, das hätte voraussichtlich zu einem schnelleren Sinken der pH-Werte geführt. Eine Ausnahme bildete der Krutschenkamp, der im selben Zeitraum in etwa die Erhaltungsmenge für IS bekam.

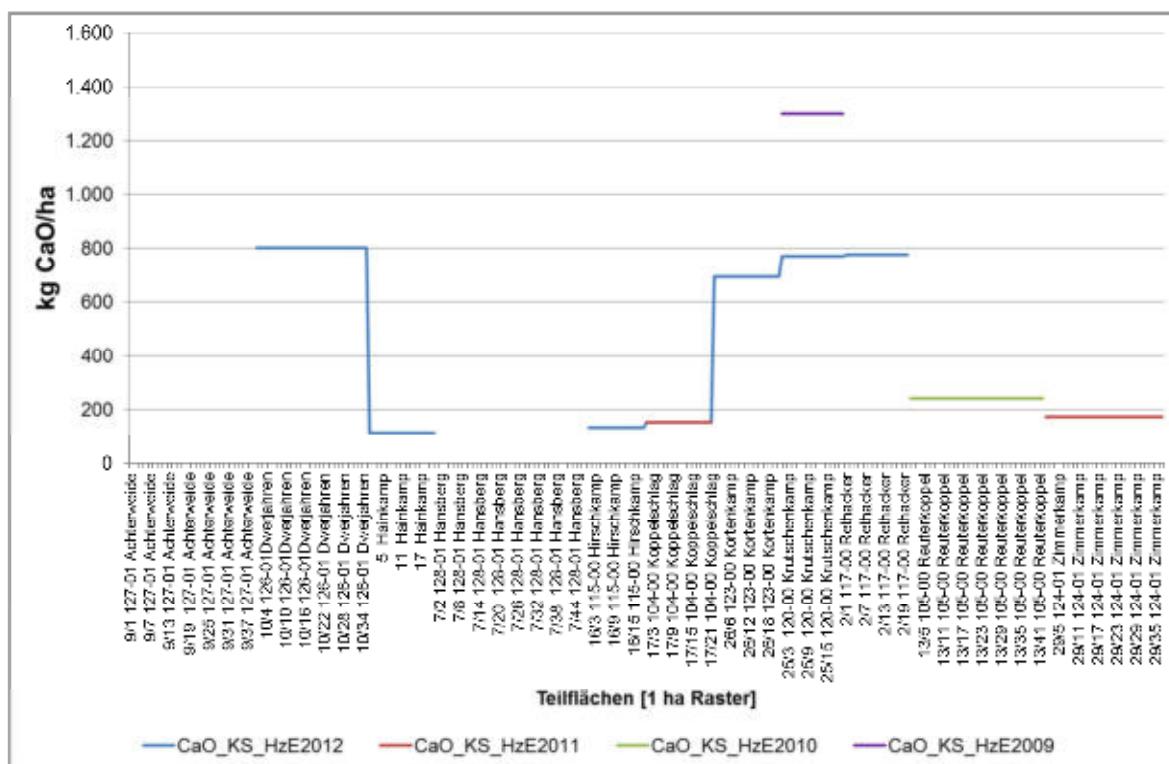


Abb. 25: CaO-Mengen über Klärschlamm

Der Abb. 26 sind die pH-Werte der einzelnen Teilflächen über die Jahre zu entnehmen. In allen Jahren gibt es über alles gesehen eine ähnliche Variation des pH-Wertes. Allerdings bei sinkenden pH-Werten über die gesamte Projektzeit. Wegen nicht stattfindender teilflächiger Kalkung in der ersten Projekthälfte waren auch keine Voraussetzungen für einen pH-Wert-Ausgleich bzw. eine Homogenisierung des pH-Wertes gegeben. Erst mit der zweiten Projekthälfte und der Wiederaufnahme des Kalkeinsatzes bzw. der Einführung von teilflächiger Kalkung konnte für eine Angleichung der Bodenreaktionen differenziert auf die pH-Wertunterschiede eingegangen werden.

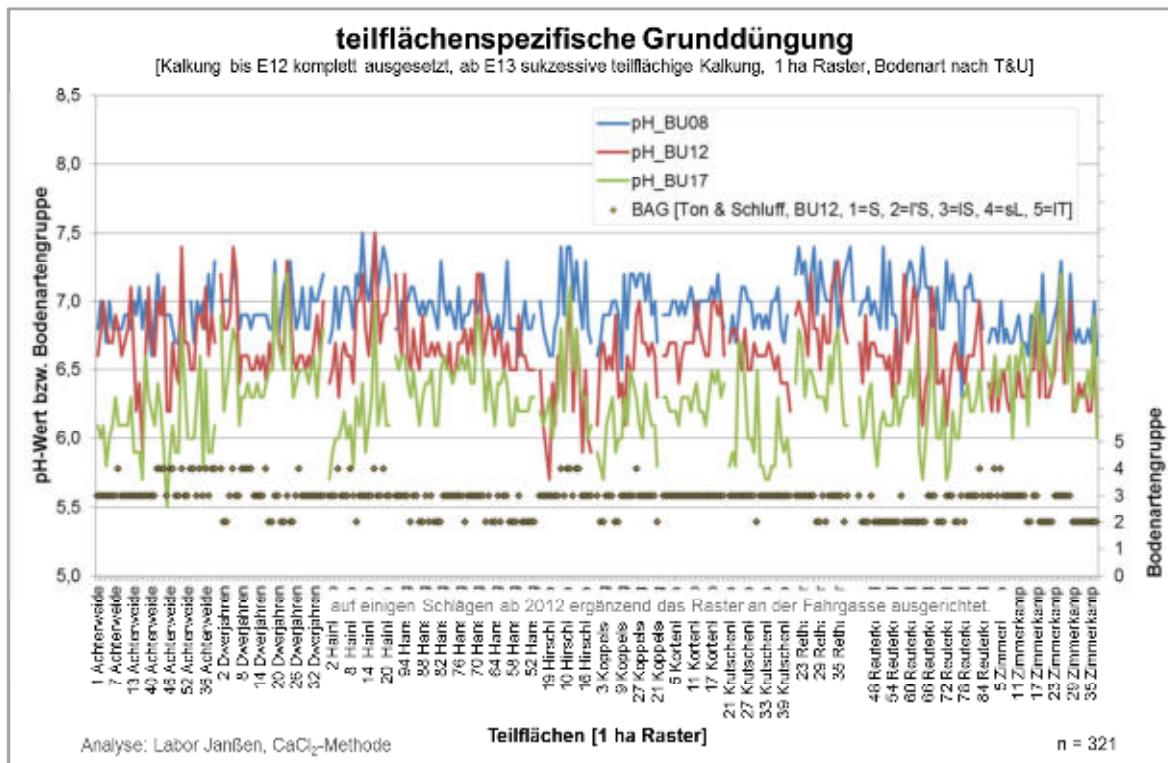


Abb. 26: Die pH-Werte aus der Bodenuntersuchung 2008, 2012 und 2017

Die stärksten betrieblichen Eingriffe lagen bei Phosphat und Kalk vor. Das hat die Mengen je Teilfläche und die Mengendifferenzierungen Mengendifferenzierung zwischen den Teilflächen beeinflusst. Beim Kalk kam ergänzend hinzu, dass erst ab April 2014 die Schlämmanalysenergebnisse vorlagen und anschließend nach Richtwerten jeweils für eine 3-jährige Rotation gedüngt werden konnte. Bzw. hat der Betrieb die Kalkung nicht konzentriert im Herbst 2014 auf allen Projektschlägen zeitgleich umgesetzt. Zum einen um die Kalkkosten für die gesamte Projektfläche über mehrere Jahre zu verteilen und zum anderen, weil die Kalkung - wie auf den Betriebsflächen auch - immer an das Fruchtfolgeglied Raps gekoppelt bleiben sollte. Im Projekt kamen die Streumengenunterschiede im Wesentlichen dadurch zustande, dass die Teilflächen in GHK E und D ohne Kalkbedarf waren bzw. die Teilflächen mit Kalkbedarf vorwiegend in GHK C. Da innerhalb der Gehaltsklasse C nicht in der Menge differenziert wird, es aber bodenartspezifische Erhaltungsmengen gibt, sind die Streumengenunterschiede auf den zu kalkenden Teilflächen im Wesentlichen durch ihre Bodenartenunterschiede bedingt gewesen. Teilflächen in der Gehaltsklasse B erhalten für jeden pH-Wert eine andere Kalkmenge, die wiederum auch von der Bodenart abhängig ist (s. Abb. 19, S. 49).

- Phosphatgehalte sind sukzessive gestiegen. 2017 gibt es anteilig Teilflächen mit Gehaltsstagnation und mit gesunkenen Gehalten.
- Kaliumgehalte sind zur Halbzeit ungewollter weise gesunken und zum Ende wieder angestiegen.
- Magnesium hat in der zweiten Projekthälfte auf drei Schlägen einen unerklärlichen Bodengehaltsanstieg.
- pH-Werte sind wie geplant sukzessive gesunken.
- Die Düngemengen nach Richtwerten wurden durch betriebliche Belange übersteuert.
- Die jeweiligen Nährstoffgehalte der Teilflächen haben sich über die Zeit nicht angeglichen. Sie schwanken mit der vergleichbaren Bandbreite nur auf abweichendem Niveau.

## 6.2.6. Entwicklung der Nährstoffversorgung

Abb. 27 zeigt für alle Hauptnährstoffe der Projektfläche die jeweiligen Veränderungen in der Nährstoffversorgung während des Projektzeitraumes. Wie mehrfach erwähnt sind die meisten Teilflächen aus 2008 wegen der Rasteranpassungen in 2012 nicht direkt mit Folgejahren 2012 und 2017 vergleichbar. Beim Phosphat 2008 sind trotz der Rasterabweichungen auf entsprechenden Schlägen für einen Gesamteindruck vom Jahr alle Teilflächen in die Bewertung aufgenommen. Beim bodenartunabhängigen Phosphat ist auch eine Gehaltsklasseneinstufung aller Teilflächen möglich. Das trifft jedoch für die bodenartabhängigen Nährstoffe nicht zu. Die Bodenart aus den Schlämmanalysenproben 2012 kann nur auf die identischen Schläge mit dem durchgängigen Raster und deren Teilflächen übertragen werden. In Verbindung mit den Bodennährstoffgehalten 2008 lässt sich nur für diese Schläge eine GHK-Einstufung beim Kalium, Magnesium und pH-Wert vornehmen.

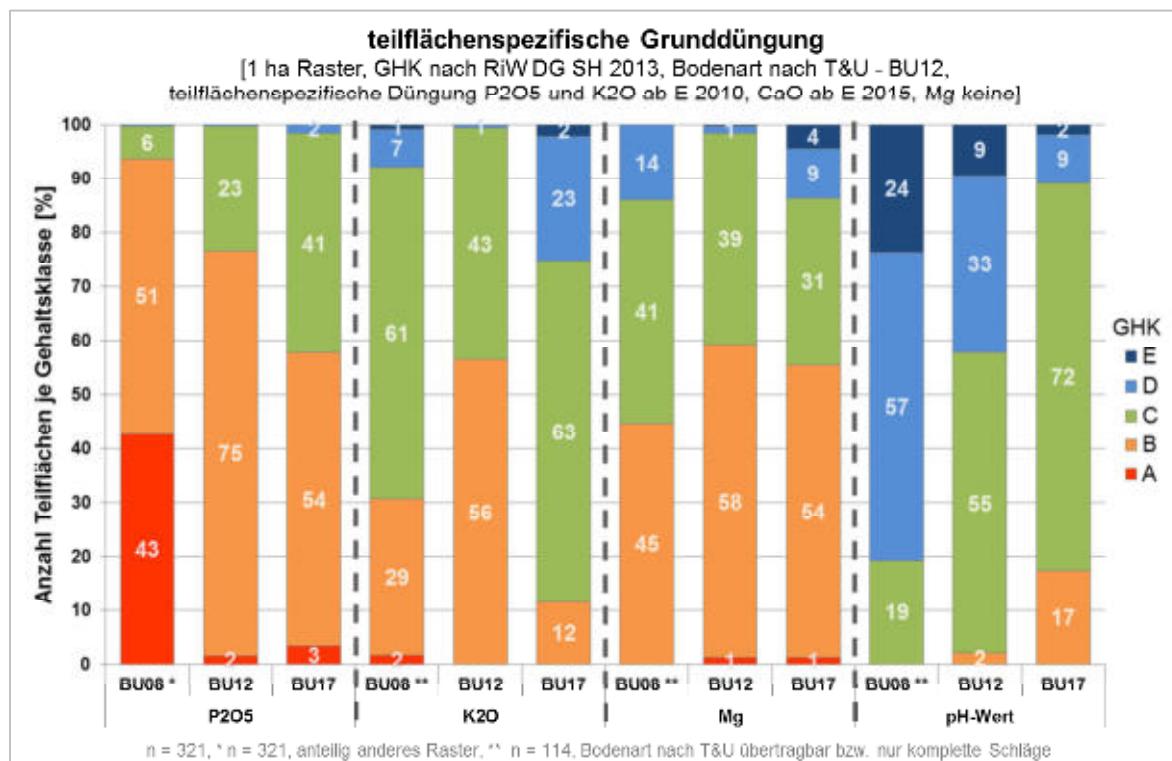


Abb. 27: Veränderung der Gehaltsklassenanteile je Einzelnährstoff für alle Teilflächen über den 10-jährigen Projektzeitraum.

### Phosphat

Auf die gesamte Projektfläche bezogen (s. Abb. 27) hat sich die Phosphatversorgung verbessert. Der Anteil an GHK C ist stetig gestiegen. Die anfangs am häufigsten vertretenen GHK A und GHK B erforderten einen höheren Düngungsaufwand. Zur Halbzeit war die GHK A nahezu verschwunden. Der Anteil an GHK B und GHK C war jeweils größer geworden.

Mit 41 % der Teilflächen in der GHK C ist das Ziel einer ausgeglichenen Bodenversorgung bzw. das vorwiegende Vorkommen optimal versorger Teilflächen zum Projektende jedoch nicht erreicht. Die meisten Teilflächen fallen mit 51 % in die GHK B. Während die mittelversorgten Teilflächen einen ausschließlichen Erhaltungsbedarf haben, erfordern die Teilflächen der GHK B weiterhin eine leicht erhöhte Düngung. Der Anteil an sehr niedrig versorgten Teilflächen, die eine erhöhte Düngung benötigen, ist gering. Hoch Versorgte gibt es wenige und sehr hoch versorgten Teilflächen traten auch zum Schluss nicht auf.

Das Projekt war mit dem Hinweis gestartet, dass eine Nährstoffumverteilung Geld spart. Die Nährstoffeinsparungen von hochversorgten Teilflächen sollen den Mehrbedarf schwach versorger

Teilflächen finanzieren. Auf Basis realer Bodennährstoffgehalte von 2012 und 2017 und identischer Raster über alle Projektteilflächen sowie einer angenommenen dreijährige Fruchtfolge (RAW 45 – WW 97 – GW 98 dt/ha) für die gesamte Projektfläche und den Düngeempfehlungen nach Richtwerten wurde das Umverteilungspotenzial berechnet. Tab. 12 zeigt die Verteilung der Nährstoffmengen, der Flächenumfänge, den mittleren Nährstoffbedarf sowie ein mögliches Nährstoffumverteilungspotenzial bezogen auf die Gehaltsklassen.

Tab. 12: Phosphat bis zuletzt ohne nennenswertes Nährstoff-Umverteilungspotenzial

BU 2012	GHK P205	P205 kg gesamt *	ha	kg P205/ha	Umverteilung gegenüber GHK C	
					kg P205	€ **
	A	1.759	5,0	353	745	566
	B	69.967	237,4	295	21.718	16.505
	C	15.509	76,3	203	0	0
	D	62	1,0	61	-145	-110
	E	0	0,0	0	0	0
	Summe/Mittel	87.296	319,7	273	22.318	16.961

BU 2017	GHK P205	P205 kg gesamt *	ha	kg P205/ha	Umverteilung gegenüber GHK C	
					kg P205	€ **
	A	3.823	10,2	374	1.768	1.344
	B	50.766	175,5	289	15.535	11.806
	C	25.972	129,3	201	0	0
	D	195	4,6	42	-736	-559
	E	0	0,0	0	0	0
	Summe/Mittel	80.757	319,7	253	16.567	12.591

\* RAW 45 – WW 97 – GW 98 dt/ha, RiW DG SH 2013

\*\* 0,76 €/kg P205 [TSP]

In 2012 ergibt sich für die Teilflächen in GHK A insgesamt ein Düngedarf von 1.759 kg, für die in GHK B ein Gesamtbedarf von 69.967 kg, für die GHK C eine totale Düngemenge von 15.509 kg und für die GHK D ein Phosphatbedarf von insgesamt 62 kg. Denn in GHK A, B und D besteht realer Düngedarf. Das Umverteilungspotenzial der teilflächigen Düngung im 1 ha-Raster wird im Vergleich zum mittleren Phosphatbedarf der GHK C berechnet. Dazu sind nachfolgend zwei GHK-Beispiele 2012 aufgeführt. Das Einsparpotenzial der GHK D umfasst die Differenz aus seiner mittleren Bedarfsmenge abzüglich der mittleren Bedarfsmenge der GHK C. Diese Differenz wird mit der Hektarzahl der GHK D multipliziert und ergibt die totale Einsparmenge sowie die eingesparten Nährstoffkosten.  $61 \text{ kg P205/ha} - 203 \text{ kg P205/ha} = -142 \text{ kg P205/ha}$  \*  $1,02 \text{ ha} = -145 \text{ kg P205}$  oder  $-110 \text{ € gesamt}$ . Das Mehrausgabenpotenzial der GHK B im Vergleich zur GHK C berechnet sich wie folgt:  $295 \text{ kg P205/ha} - 203 \text{ kg P205/ha} = 91 \text{ kg P205/ha}$  \*  $237,37 \text{ ha} = 21.718 \text{ kg P205}$  oder  $16.505 \text{ € gesamt}$ . Werden die gesamten Mehrmengen und Mindermengen bzw. deren jeweilige Kosten aufsummiert, führt das teilflächenspezifische Düngen zu einem Mehrbedarf von 22.318 kg Phosphat bzw. zu Mehrkosten von 16.961 €. Effektiv gibt es bei dem Szenario in 2012 und 2017 noch nicht wirkliches finanzielles Einsparpotenzial. Die Grunddüngung im 1 ha-Raster kann unter den gegebenen Bedingungen maximal eine günstige standort- und zeitpunktbezogene Nährstoffverteilung erreichen. Die Homogenisierung wurde unter Praxisbedingungen möglicherweise auch anteilig aufgrund des über längere Zeit abweichenden Düngungsansatzes nicht erreicht. Offen ist, ob das mit einer 1 : 1 Umsetzung der Richtwerte möglich ist.

Der beschriebene Berechnungsansatz für das Nährstoffumverteilungspotenzial wird im Weiteren auch für die anderen Nährstoffe angewendet. Hier wird bei der Bedarfsberechnung zusätzlich die Bodenart nach Schlämmanalyse berücksichtigt.

Die reale Phosphatdüngung zwischen 2008 und 2012 hatte die Bodengehalte im Mittel angehoben, wenngleich nicht die gewünschte Homogenisierung eintrat. Durch die verbesserte mittlere Versorgung

konnte mit einer weniger aufwendigeren Phosphatdüngung fortgesetzt werden. Ab der Halbzeit fiel die Phosphatdüngung daher etwas kostengünstiger aus.

Die Phosphataufdüngung war bisher durch ein P-Saldo von 20 kg P2O5/ha und Jahr begrenzt. Durch die Novellierung der Düngeverordnung wird der P-Überhang künftig auf 10 kg P2O5/ha und Jahr (6-jähriger Durchschnitt) begrenzt sein. Bei den regionalen Düngeempfehlungen sowie den durchschnittlichen Körnerträgen und einer 3-jährigen Fruchfolge am Projektstandort führt die Phosphatdüngung bei Bodengehalten im oberen Bereich der GHK B an die Grenzen des maximalen P-Saldos.

Limitierungen durch Salden führen insgesamt dazu, dass der Bodenvorrat auch vom wenig verlagerungsfähigen Phosphat bei Bedarf nicht entsprechend aufgedüngt werden kann. Das reduziert das theoretische pflanzenbauliche sowie wirtschaftliche Potenzial von teilflächenspezifischer Grunddüngung – insgesamt und besonders hinsichtlich Phosphat. Zu klären ist bei Begrenzung durch Salden, ob und inwieweit innerhalb eines Schläges noch Umverteilung möglich und sinnvoll sein können. Z. B. volles Ausdüngen einer Teilfläche mit 10 mg P2O5/100 g Boden nach bisherigen Empfehlungen, aus dem ein Saldo von 30 kg P2O5/ha folgt. Und gleiches für eine Teilfläche gleicher Größe mit 21 mg P2O5/100 g Boden und einem Saldo von -10 kg P2O5/ha. In Summe ergibt sich ein mittleres Saldo von 10 kg P2O5/ha, dass im Rahmen der Vorgaben liegt. Das erfordert allerdings eine einzelbetriebliche sowie eine Einzelschlag- und Teilflächenbetrachtung. Die Komplexität in der Anwendung und der Managementbedarf nehmen dadurch weiter zu ebenso wie das Fehlerpotenzial.

- Nährstoffversorgung wurde verbessert.
- Homogenisierung konnte nicht erreicht werden, 41 % der Teilflächen in GHK C.
- Ein Einsparpotenzial bei Phosphatmengen und eine Senkung der Phosphatkosten durch Nährstoffumverteilung gibt es bisher nicht.
- Bedürftigere Teilflächen erhalten gegenüber der Gehaltsklasse C Aufschlagsmengen. Besser versorgte Teilflächen sind kaum vorhanden.
- Die Limitierung des Phosphatsaldos auf 10 kg P2O5/ha und Jahr (6-jähriges Mittel) begrenzt möglicherweise auch das wirtschaftliche sowie pflanzenbauliche Potenzial teilflächiger Phosphatdüngung und teilflächiger Grunddüngung insgesamt.

## Kalium

Die verschlechtere Kaliumversorgung zur Projekthalbzeit zeigt, dass trotz Präzisionsanspruch und – umsetzung das Etappenziel nicht erreicht wurde (s. Abb. 27, S. 57.). Die Frage war, ob die Mengen aus dem Pragmatiker Ansatz aus den ersten Jahren bzw. bis zur Vorlage der Bodenartergebnisse nach Schlämmanalyse insgesamt zu niedrig angesetzt waren. Deshalb wurden für Kalium u. a. die Streumengen nach Karte für die Schläge mit identischem Raster je Halbzeit aufaddiert. Auf drei der vier Schläge waren die Ist-Mengen nach Vorgabe-Streukarte in der Mehrzahl der Teilflächen mindestens gleich hoch wie die Soll-Mengen nach Richtwerten. D. h. gegenüber den Standardempfehlungen hatten die meisten Teilflächen der drei Schläge mehr Kalium erhalten, sodass die Kaliaufwandmengen aus dem pragmatischen Ansatz im Durchschnitt der Teilflächen bzw. ihrer Mehrzahl als nicht ursächlich für die Absenkung der Kaliumbodengehalte zur Projekthalbzeit erachtet wird. Andere Faktoren als die reine Düngung bzw. Nährstoffmenge haben hier den Erfolgsparameter Bodennährstoffgehalt bzw. –anpassung beeinflusst. Ursächlich dafür können auch ertragsbedingte höhere Entzüge und/oder Nährstoffverlagerungen sein. Offen ist z. B. auch, ob die hohen Niederschlagsmengen in den Erntejahren 2010 und 2011 trotz kontinuierlicher Düngung über den gesamten Zeitraum eine Absenkung der Bodengehalte in der Probennahmetiefe von 30 cm und ggf. darüber hinaus bewirkt haben. D. h. der Präzisionsanspruch, der mit der Umsetzung neuer Verfahren besteht, kann unter praktischen Bedingungen unter Umständen gar nicht erfüllt werden.

Auf dem vierten der vier Schläge (Hainkamp) lag in der Mehrzahl der Teilflächen die Streumenge unterhalb der Soll-Mengen nach Richtwerten. Obwohl der Schlag quasi unterdünkt wurde, stiegen seine Kaliumbodengehalte zur Projektmitte an. Der Sachlogik entsprechend wäre gesunkene Bodengehalte zu erwarten gewesen und im Vergleich zu den anderen eher höher gedüngten Schlägen hätte sie sogar stärker sinken müssen. Ein anderer Projektschlag, der vergleichbare Kalimengen erhalten hatte, war

dagegen dem allgemeinen Trend folgend in den Bodengehalten zur Projektmitte abgefallen. Und das, obgleich er nach dem Pragmatikeransatz mehr Kalium erhielt, als er nach Richtwerten bekommen hätte. Verglichen mit den anderen Schlägen war der Hainkamp ausgangs in der Tendenz etwas weniger gut kaliumversorgt.

Ausgehend von der verschlechterten Versorgungslage 2012, waren im Vergleich zu den Bodenuntersuchungsergebnissen 2008, deutliche Mehrmengen an Kalium zu düngen. D. h., in der zweiten Projekthälfte konnte gegenüber der ersten Projekthälfte kein Kalium eingespart werden. Zum Projektende hat sich die Versorgungslage beim Kalium deutlich verbessert (s. Abb. 27, S. 57), nicht zuletzt auch gegenüber der Ausgangssituation. Der Anteil an schwächer versorgten Teilflächen wurde schlussendlich deutlich reduziert. Anfangs war die Überlegung, dass hier auch die geringeren Entzüge aus dem ertragsschwachen Erntejahr 2016 mit 15 dt/ha geringeren Erträgen über alle Kulturen sowie das je nach Fruchtfolgeglied teilweise ertragsschwächere Erntejahr 2017 hineinspielen. Ein Minderertrag von 15 dt je Hektar bedeutet beim Getreide eine geringere Abfuhr von 9 kg K2O/ha und beim Winterraps von 15 kg K2O/ha. Beide Werte liegen jedoch unterhalb des Nährstoffsaldos, der für eine Anhebung des Bodengehaltes um 1 mg/ 100 g lufttrockenen Boden erforderlich ist. D. h. die geringere Abfuhr ist nicht ursächlich für den deutlichen Bodengehaltsanstieg.

Optimal kaliumversorgt ist mit 63 % die Mehrzahl der Teilflächen. Jedoch haben trotz langjähriger teilflächenspezifischer Düngung knapp 40 % der gesamten Teilflächen zum Projektende eine suboptimale Versorgung. Auf den meisten dieser Flächen, 25 % der Gesamtfläche, kann die Düngung aufgrund guter Versorgung reduziert werden. Dagegen sind auf gut 10 % der Fläche Aufschläge auf die Erhaltungsmenge zu geben. Das beim Phosphat beschriebene Vorgehen zur Berechnung Umverteilungspotenzial von Mehr- und Mindermengen durch teilflächenspezifische Grunddüngung bzw. die damit verbunden Nährstoffkosten findet auch bei der Kaliumdüngung Anwendung. Ausgehend von den Bodenuntersuchungsergebnissen 2012 berechnet sich für die 3-jährige Fruchfolge nach Richtwerten kein Umverteilungspotenzial. Die schwächer versorgten Teilflächen erhalten einen Aufschlag, wirkliches Einsparpotenzial durch teilflächenspezifische Grunddüngung ist mangels entsprechender Flächenumfänge in den höheren Gehaltsklassen nicht gegeben (Tab. 13). Aufgrund gesunkenener Bodengehalte und Nährstoffversorgung zur Halbzeit war die Kaliumdüngung intensiviert worden. In 2017 war die Bodenversorgung so weit angehoben, dass der Mehrbedarf der Teilflächen aus der GHK B dem Minderbedarf der Teilflächen aus den GHK D und E entsprach. Was die Grafik (s. Abb. 27, S. 57) nicht offenbart ist, dass die Teilflächen der GHK C aus der BU 2017 einen höheren mittleren Kaliumgehalt haben als noch zur BU 2012. Aus dem höheren mittleren Kaliumbodengehalt ergibt sich eine Einsparung in der GHK C von 35 €/ha für die kommende Fruchfolge.

Tab. 13: Umverteilungspotenzial bei Kalium abhängig vom Ausgangsbodengehalt

BU 2012	GHK K2O	K2O kg gesamt *	ha	kg K2O/ha	Umverteilung gegenüber GHK C	
					kg K2O	€ **
	A	0	0,0	0	0	0
	B	48.638	179,1	272	16.073	8.519
	C	25.202	138,6	182	0	0
	D	0	2,0	0	-369	-196
	E	0	0,0	0	0	0
	Summe/Mittel	73.840	319,7	231	15.704	8.323

BU 2017	GHK K2O	K2O kg gesamt *	ha	kg K2O/ha	Umverteilung gegenüber GHK C	
					kg K2O	€ **
	A	0	0,0	0	0	0
	B	9.676	35,8	270	6.669	3.534
	C	16.908	201,3	84	0	0
	D	0	75,6	0	-6.348	-3.365
	E	0	6,9	0	-581	-308
	<b>Summe/Mittel</b>	<b>26.584</b>	<b>319,7</b>	<b>83</b>	<b>-261</b>	<b>-139</b>

\* RAW 45 - WW 97 - GW 98 dt/ha, Bodenart nach T&U, RiW DG SH 2013

\*\* 0,53 €/kg K2O [40er Kalium]

- Nährstoffversorgung fällt zur Halbzeit trotz entsprechender Düngung deutlich ab.
- Verbesserung der Bodengehalte zum Projektende.
- Über den gesamten Zeitraum betrachtet, ist die Veränderung bei der Kaliumversorgung drastischer bzw. wechselhafter als beim Phosphat.
- Homogenisierung konnte nicht erreicht werden, 61 % der Teilflächen in GHK C.
- Ein durch teilflächenspezifisches Düngen beginnendes Einsparpotenzial bei Kaliummengen und eine Senkung der Kaliumkosten durch Nährstoffumverteilung gibt es erstmals zum Projektabschluss.

## Magnesium

Eine Bewertung beim Magnesium findet nicht statt. Bis auf zwei Schläge, auf denen in einem Jahr versuchsweise magnesiumreicher Kalk zur teilflächigen Bedarfsdeckung eingesetzt wurde, ist der Nährstoff auch aufgrund fehlender Düngetyp-Optionen düngungstechnisch nicht teilflächenspezifisch umgesetzt worden.

## pH-Wert / Kalk

Die Kalkversorgung hat sich im Laufe der Zeit verbessert (Abb. 27, S. 57). Der Anteil an Gehaltsklasse C nahm zu und die Teilflächen in GHK D und GHK E nahmen ab. Zum Nährstoffmanagement gehörte hier über die gesamte Periode gesehen im Wesentlichen, dass Aussetzen von Düngungsmaßnahmen. Je nach Zeitpunkt betraf es zum Teil gesamte Schläge, größere zusammenhängende Teilflächen und/oder einzelne Teilflächen eines Schläges. Mit dem Aussetzen der Kalkung war ein entsprechendes Einsparen von Kalkdüngermengen und damit eine Vermeidung von Ausgaben im Vergleich zur flächeneinheitlichen Applikation verbunden. Dort, wo ganze Schläge oder große zusammenhängende Teilflächen ungekalkt bleiben konnten, entstanden zusätzlich auch keine Arbeitserledigungskosten.

Beim pH-Wert wurde aus der Bodenuntersuchung 2017 auch die gleichmäßigste Versorgung mit 72 % der Teilflächen in Gehaltsklasse C von allen Nährstoffen erreicht. Der Anteil an Teilflächen, auf denen Kalk gespart werden kann, fällt mit 11 % etwas geringer aus als der Anteil an Teilflächen, auf denen nach Richtwerten ein leicht erhöhtes Kalken empfohlen wird (17 %).

Unter Phosphat ist beschrieben, wie sich das Umverteilungspotenzial von Grundnährstoffen z. B. auch für teilflächenspezifische Kalkung ableitet. Aus den pH-Werten 2012 folgt nur auf einem sehr geringen Anteil der Teilflächen ein gegenüber der Erhaltungskalkung leicht erhöhter CaO-Bedarf (Tab. 14). Dagegen können insgesamt 1.909 dt Kalk durch das teilflächige Aussetzen der Kalkung gegenüber einer schlageinheitlichen eingespart werden. Aufgrund der abschließenden Beprobungsergebnisse ist kein absolutes Einsparpotenzial mehr gegeben. Durch Umverteilung per teilflächiger Grunddüngung wird nahezu der gesamte Mehrbedarf von Teilflächen in GHK B durch die Einsparungen in den höheren Versorgungsgruppen gegenüber einer reinen Erhaltungskalkung gedeckt. Der absolute Kalkbedarf ist von 2012 auf 2017 aufgrund gesunkenener pH-Werte gestiegen.

Tab. 14: Umverteilung von Kalkmengen durch teilflächiges Düngen

BU 2012	GHK CaO	CaO dt gesamt *	ha	dt CaO/ha	Umverteilung gegenüber GHK C	
					dt CaO	€ **
	A	0	0,0	0	0	0
	B	127	6,4	20	37	221
	C	2.470	175,2	14	0	0
	D	0	107,7	0	-1.518	-9.106
	E	0	30,4	0	-428	-2.570
	Summe/Mittel	2.597	319,7	8	-1.909	-11.455

BU 2017	GHK CaO	CaO dt gesamt *	ha	dt CaO/ha	Umverteilung gegenüber GHK C	
					dt CaO	€ **
	A	0	0,0	0	0	0
	B	1.212	53,8	23	499	2.997
	C	3.065	231,6	13	0	0
	D	0	29,0	0	-383	-2.300
	E	0	5,3	0	-70	-423
	Summe/Mittel	4.278	319,7	13	46	274

\* RAW 45 - WW 97 - GW 98 dt/ha, Bodenart nach T&U, RiW DG SH 2013

\*\* 6 €/ dt CaO

- Nährstoffversorgung wurde verbessert.
- Homogenisierung konnte nicht erreicht werden, 72 % der Teilflächen in GHK C.
- pH-Wert hat von allen Nährstoffen den höchsten Anteil an optimal versorgten Teilflächen.
- beim Kalk gab es durch Düngeaussetzung ein absolutes Einsparpotenzial bis zum Projektende.
- Die Abschlussuntersuchungsergebnisse zeigen eine Ausgeglichenheit zwischen Mehrbedarf und Einsparung.

## 6.2.7. Weiteres

### Reichsbodenschätzung

Vielfach wird im Zusammenhang mit teilflächenspezifischer Grunddüngung aber auch mit teilflächiger Stickstoffdüngung (Mapping-Ansatz, online plus Map-Overlay-Verfahren) die Nutzung der Einteilung von Teilflächen nach Reichsbodenschätzung (RBS) diskutiert.

Nach der Reichsbodenschätzung sind die Bodenmerkmale manuell im jeweils 50 m Abstand zu den nächsten Beprobungspunkten erfasst worden. Auf Grundlage vergleichbarer Bodenergebnisse angrenzender Probenpunkt wurden diese zu einer Klassenfläche bzw. innerhalb dieser durch abweichende Eigenschaften zum Klassenflächenabschnitt zusammengefasst. Je nach dem, wie viele Beprobungspunkte ähnliche Ergebnisse lieferten, sind die Flächen mehr oder minder groß. Diese größeren Teilstücke sind außer auf Papierkarten auch durch die digitale RBS dokumentiert.

Der Wert einer Teilfläche leitet sich auf Grundlage des Ackerschätzungsrahmens aus den Parametern Bodenart, Bodenentstehung und Zustandsstufe ab. Aus der Kombination der natürlichen Bodenparameter ergibt sich die Bodenzahl (Tab. 15). Helmstorf ist ein diluvial geprägter Standort. Die meisten Teilstücke haben laut digitaler RBS als Zustandsstufe eine 3 oder 4.

Tab. 15: Reichsbodenschätzung – Ackerschätzungsrahmen Auszug Bodenart sL

Bodenart	Entstehung	Zustandsstufe						
		1	2	3	4	5	6	7
sL sandiger Lehm	D	84-76	75-68	67-60	59-53	52-46	45-39	38-30
	Lö	92-83	82-74	73-65	64-56	55-48	47-41	40-32
	Al	90-81	80-72	71-64	63-56	55-48	47-41	40-32
	V	85-77	76-68	67-59	58-51	50-44	43-36	35-27
	Vg			64-55	54-45	44-36	35-27	26-18

(Quelle: Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz, verändert)

Je nach weiteren natürlichen Ertragsfaktoren kommt man über Zu- oder Abschläge von der Bodenzahl zur Ackerzahl. Beispielsweise bei Geländeneigung einer Teilfläche gibt es je nach Neigungsgrad unterschiedliche Prozentsätze für die Abrechnung von der Bodenzahl zur Ackerzahl. Der beste Boden in Deutschland ist mit 100 Bodenpunkten bewertet.

Ein Klassenflächenzeichen enthält der Reihe nach die Informationen Bodenart, Zustandsstufe, Bodenentstehung und bei den Wertzahlen ist als erstes die Bodenzahl und dann die Ackerzahl genannt:

sL 4D 58/49

Für die Grunddüngung interessant ist zu aller erst die Bodenarteinstufung nach Reichsbodenschätzung. Für den Projektschlag „Dwerjahren“ ist nachstehend die digitale Reichsbodenschätzungskarte (Abb. 28) mit ihren Klassenflächen/ Klassenabschnittsflächen bzw. Bodenarten abgebildet. Von allen betrieblichen Schlägen ist der Dwerjahren (34,6 ha) nach digitaler Reichsbodenschätzung hinsichtlich der Bodenart einer der Heterogensten. Jede Bodenart in der Karte grenzt sich durch eine andere Farbe von anderen Bodenarten ab.

Für den Schlag Dwerjahren teilen sich die Bodenarten in 29,5 ha sandigen Lehm (sL), 1,9 ha Lehm/Moor (L/Mo) und 3,2 ha schwerer Lehm (LT) auf.

Die auf dem Dwerjahren in der RBS innerhalb einer Bodenart verlaufenden schwarzen Grenzlinien, setzen innerhalb einer Bodenart gegeneinander Teilflächen ab. Die Unterschiede kommen entweder durch ertragsbeeinflussenden Zustandsstufen der Teilflächen und/ oder durch andere natürliche ertragsbeeinflussende Faktoren z. B. Waldschatten, Hangneigung zustande.

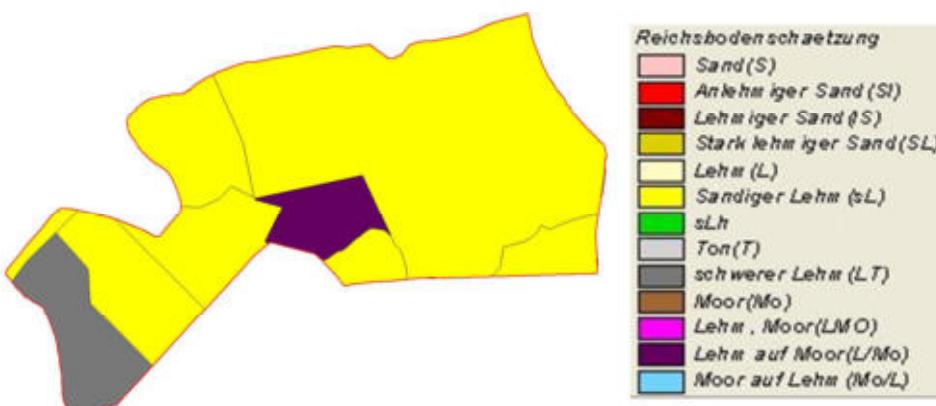


Abb. 28: Dwerjahren – Bodenarten nach digitaler Reichsbodenschätzungskarte

Für die teilflächige Grunddüngung am Standort wurde auf jedem Schlag ein systematisches 1 ha-Raster angelegt. Die intensive Beprobung bietet eher die Möglichkeit, Unterschiede u. a. auch im Bodennährstoffgehalt herauszuarbeiten, um düngungsseitig darauf differenziert einzugehen. Der Probennehmer sprach mehrfach die ausgeprägte Bodenheterogenität des Schlages an. Die Schlämmanalyse auf Basis vom Ton- und Schluffgehalt spiegelte auch im Vergleich zu den anderen Schlägen eine ausgeprägte Bodenart-Heterogenität vom Dwerjahren wieder. Mit der Schlämmanalyse hatte sich die Leitbodenart lehmiger Sand (IS) auf dem Schlag und für alle Projektflächen ergeben (Abb. 12, S. 37). Die Bodenartendifferenzierung nach der genaueren Methodik Schlämmanalyse lässt sich nur bedingt auf der digitalen Reichsbodenschätzungskarte wiederfinden bzw. weicht auch die Leitbodenart voneinander ab (Tab. 16).

Tab. 16: Dwerjahren – deutliche Bodenunterschiede zwischen Bodenartbestimmung nach Schlämmanalyse [Ton&Schluff] bzw. nach Reichsbodenschätzung

Hektar in Gruppierung rel.			
BAG Code	Symbol vorwiegende Bodenart	T&U [1 ha-Raster]	RBS [Klassenfläche]
1	S	0	0
2	I'S	24	0
3	IS	53	0
4	sL/uL	23	85
5	t'L, [LT *]	0	9
	[L/Mo *]	0	6
Summe		100	100

\* Bodenartkürzel Reichsbodenschätzung, Zuordnung anteilig nach Anleitung LK Nordrhein-Westfalen, verändert nach Richtwerte für die Düngung 2013, SH

Abweichende Bodenartenergebnisse zwischen Schlämmanalyse und Reichsbodenschätzung können unter anderem in der unterschiedlichen Bewertungsweise liegen. Bei der Reichsbodenschätzung soll der Gesamtcharakter eines Bodens bewertet werden. Außer den abschlämmbaren Teilchen bzw. der Korngrößenverteilung des Bodens, die im Feld und nicht im Labor erfasst wurden, sind auch die Bodenarten über die Tiefe (1m) berücksichtigt. „Ein Lehm Boden mit leichtem Untergrund kann nicht als Lehm, sondern als sandiger Lehm oder sogar als lehmiger Sand angesprochen sein.“ (Kurandt und Rösch, 1950)

Im Gegensatz dazu bewertet die Bodenuntersuchung als Grundlage für die Grundnährstoffdüngung die oberen 30 cm eines Bodens. Zudem weichen auch die betrachteten Korngrößenfraktionen zur Bestimmung der Bodenart nach Schlämmanalyse und nach Reichsbodenschätzung anteilig voneinander ab (Tab. 17).

Tab. 17: Korngrößenfraktionen für die Bestimmung der Bodenart nach Reichsbodenschätzung bzw. nach Schlämmanalyse [Ton und Schluff]; Quelle: Nestroy et Ulonska 2012, verändert

Korngrößenunterfraktionen mit nichtsynthetischen mineralischen Anteilen nach dem Äquivalentkorndurchmesser [mm]		Reichsbodenschätzung	Schlämmanalyse 3 Fraktionen [mm]	
Grobsand [gS]	< 2,00 - 0,63		Sand [S]	<2,000 - ≥ 0,063
Mittelsand [mS]	< 0,63 - 0,20			
Feinsand [fS]	< 0,20 - 0,063			
Grobschluff [gU]	< 0,063 - 0,02		Schluff [U]	<0,063 - ≥ 0,002
Mittelschluff 1 [mU1]	< 0,02 - 0,01			
Mittelschluff 2 [mU2]	< 0,01 - 0,0063	abschlämmbare Teilchen [A]		
Feinschluff [fU]	< 0,0063 - 0,002			
Grobton [gT]	< 0,002 - 0,00063		Ton [T]	< 0,002
Mittelton [mT]	< 0,00063 - 0,0002			
Feinton [fT]	< 0,0002			

Offen ist, ob eine Nutzung der Informationen aus der Reichsbodenschätzung, z. B. die Bodenart oder das Herausarbeiten von Teilflächen auf Basis von Entwicklungsstufe bzw. weiteren ertragsbeeinflussenden natürlichen Faktoren, Vorteile für die teilflächige Grunddüngung bringt.

Das Erstellen einer Hofbodenkarte für die Grunddüngung auf den Projektschlägen, die u. a. den Faktor Reichsbodenschätzung in seinen Facetten anteilig berücksichtigt, war geplant. Aus Budget-Gründen (ca.

8.500 € plus ggf. weitere Kosten für zusätzliche Datenquellen, o.ä.) konnte das jedoch nicht umgesetzt werden.

- Die Reichsbodenschätzung konnte im Projekt nicht integriert und miterprobt werden.
- Aufgrund u. a. abweichender Bewertungsansätze weichen die Bodenart nach Schlämmanalyse und nach Reichsbodenschätzung voneinander ab.

### Nährstoffkosten bei unterschiedlichen Szenarien

Die Nährstoffkosten in der Grunddüngung werden von vielen Faktoren beeinflusst. Um einen Eindruck zu erhalten, welchen Einfluss Ausgangsbodenengehalte, Bodenart/-bestimmungsmethode und der Flächenbezug darauf haben, wurden die Nährstoffkosten für unterschiedliche Szenarien berechnet (Abb. 29). Angesetzt wurden jeweils dieselbe 3-jährige Fruchtfolge, dieselben Fruchtfolgegliederträge, die gesamte Projektfläche von 320 ha sowie die Nährstoffempfehlungen nach Richtwerten. Die Differenzierung zwischen den Nährstoffkosten kommt durch die unterschiedlichen Bodengehalte in 2012 und 2017, die methodenbedingten Bodenartunterschiede zwischen jeweils aktueller Fingerprobe bzw. Schlämmanalyse [T&U 2012] sowie durch einen unterschiedlich detaillierten Flächenbezug – teilflächenspezifisch, schlagspezifisch und betriebsspezifisch – zustande. Als teilflächenspezifisch ist hier die Düngung im 1 ha Raster definiert. Schlagspezifisch meint die Düngung auf Basis der gemittelten Bodengehalte und der gemittelten Bodenart aus den Proben eines Einzelschlagens, d. h. die Düngermenge wird schlagspezifisch aber einheitlich ausgebracht. Die betriebsspezifische Düngung umfasst eine Düngung auf Basis eines durchschnittlichen Bodengehaltes und einer durchschnittlichen Bodenart. Der Durchschnitt berechnet sich aus allen Proben und wird deshalb auch als Gesamtmittel bezeichnet. Er führt zu einer einheitlichen bzw. konstanten Düngermenge über alle Schläge.

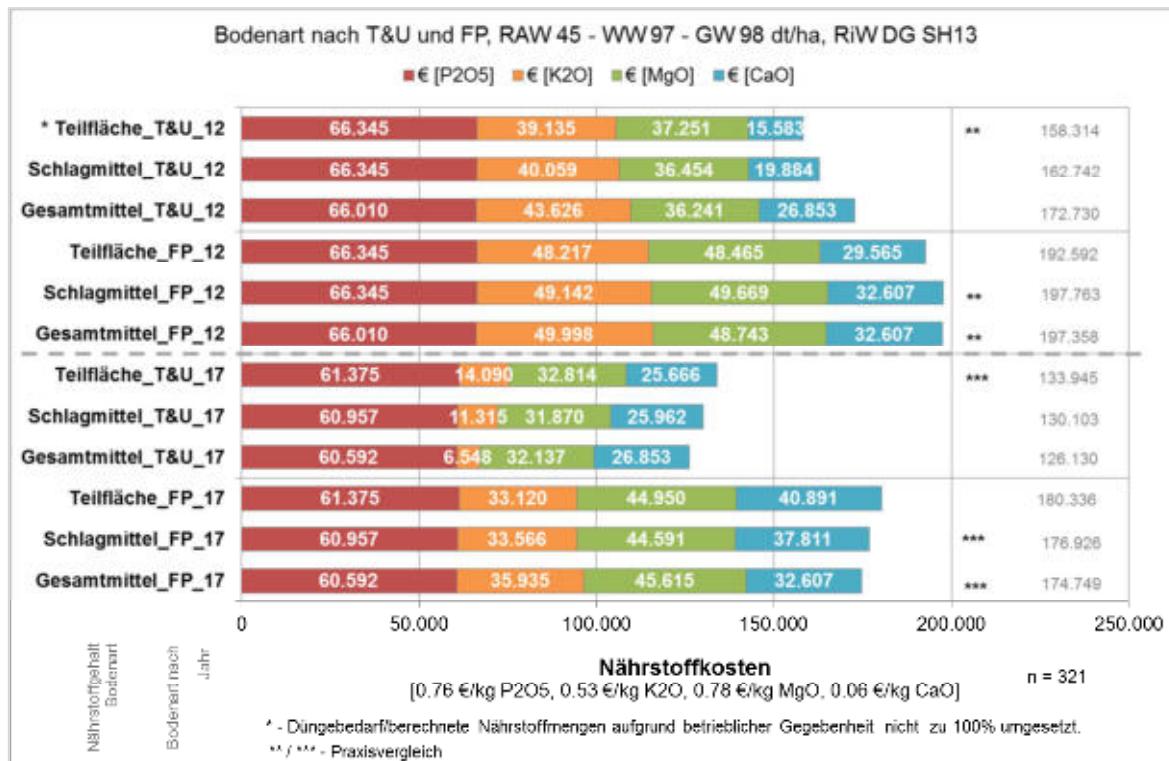


Abb. 29: Flächenbezug, Bodenartbestimmung und Ausgangsbodenengehalte bestimmen die Nährstoffkosten.

Bisher wurde der Vergleich zur teilflächenspezifischen Grunddüngung im OFR-Projekt auf Basis der Bodengehalte und der Bodenart nach Fingerprobe bzw. Schlämmanalyse je Teilfläche geführt (s. Abb. 10, Tab. 6 und Tab. 7, ab S. 33). Aus diesem Ansatz ergibt für die gesamte Projektfläche durch die Bodenartbestimmung nach Schlämmanalyse [T&U 2012] eine Nährstoffkosteneinsparung in Verbindung

mit den Bodengehalten 2012 von 34.278 € und in Verbindung mit den Bodengehalten 2017 von 46.391 €. Konzentriert sich die Betrachtung nur auf die Nährstoffe Phosphat, Kalium und Kalk, für die jeweils auch Einzelnährstoffdünger zum Ausdüngen des Teilflächenbedarfs zur Verfügung stehen, reduzieren sich die Kostenvorteile der teilflächenspezifischen Grunddüngung nach Schlämmanalyse [T&U 2012] auf ca. 23.100 € bzw. 34.300 €. Die jeweiligen Unterschiede sind ausschließlich durch die Bodenart bzw. deren Bestimmungsmethode bedingt.

Unter praktischen Bedingungen sieht der Vergleich dagegen anders aus. Die Landwirtschaft kommt aus der schlagbezogenen Düngung mit Bodenartbestimmung nach Fingerprobe (je Schlag mittlerer Nährstoffgehalt bzw. mittlere Bodenart nach Fingerprobe). Dieser Ansatz ist mit einer teilflächenspezifischen Düngung zu vergleichen. Nährstoffkostenunterschiede zwischen gegenwärtiger Praxis und teilflächenspezifischer Düngung haben hier zwei unterschiedliche Ursachen. Es gehen ebenfalls die Bodenartunterschiede durch die unterschiedlichen Bestimmungsmethoden ein. Außerdem sind bei der schlagspezifischen einheitlichen Düngung im Vergleich zur Teilfläche die Unterschiede in den Bodennährstoffgehalten bzw. in den Bodenarten weggemittelt. Hypothetisch lassen sich durch die teilflächenspezifische Grunddüngung auf Basis der Untersuchungsergebnisse 2012 circa 39.400 € und auf Basis der Ergebnisse 2017 in etwa 43.000 € einsparen. Wird Magnesium wegen fehlender gezielter Düngungsmöglichkeit aus der Betrachtung ausgeschlossen, sind durch die teilflächenspezifische Applikation aufgrund der Bodenuntersuchungsergebnisse 2012 ca. 27.000 € bzw. aufgrund der Ergebnisse 2017 ca. 31.200 € weniger für Nährstoffe auszugeben als bei schlagspezifischer einheitlicher Ausbringung. Die Differenzierungen bei den Nährstoffausgaben entstehen hier im Wesentlichen bei den bodenartabhängigen Nährstoffen bzw. durch die Bodenartbestimmung. Beim bodenartunabhängigen Phosphat verursachen die verglichenen Bewirtschaftungen ähnliche Nährstoffkosten. Das hängt beim Phosphat im Wesentlichen mit dem unter den Gegebenheiten mangelnden Umverteilungspotenzial zusammen (s. Tab. 12, S. 58).

Der reine Effekt der teilflächenspezifischen Grunddüngung wird nur auf Grundlage derselben Bodenartbestimmung und derselben Nährstoffuntersuchungsergebnisse deutlich. Das Präziseste in der Bedarfsdeckung ist zumindest theoretisch die teilflächenspezifische Düngung gefolgt von der schlagspezifischen einheitlichen Düngung. Sie ist für den Einzelbetrieb ggf. einfacher handhabbar und hat keine besonderen Vorlaufkosten (z. B. intensives Probenraster, Streukartenerstellung, Terminal, Software, etc.). Eine für den jeweiligen Betrieb am wenigsten differenzierte Düngung würde sich auf Basis eines Betriebsmittelwertes ergeben. Bei alleiniger Betrachtung der Nährstoffkosten auf Basis Teilfläche versus Schlagmittel auf Grundlage derselben Bodenartbestimmungsmethode bzw. desselben Untersuchungszyklus fallen die Differenzen zwischen teilflächenspezifisch und schlagspezifisch deutlich geringer als oben beschrieben aus. Außerdem gibt es je nach Ausgangsbodengehalt mal einen Kostenvorteil und mal einen Kostennachteil durch die teilflächenspezifische Grunddüngung. Das teilflächige Düngen bietet ausgehend von den Bodennährstoffgehalten 2012 monetäre Einsparungen bei den Nährstoffen von gut 4.400 € [Schlämmanalyse] bzw. knapp 5.200 € [Fingerprobe]. Dagegen führt eine teilflächige Grunddüngung bei einem Bodengehaltsszenario wie 2017 zu Mehrausgaben bei den Nährstoffen bei geschlämpter Bodenart von gut 3.800 € und bei Bodenartbestimmung nach Fingerprobe von gut 3.400 €.

Das teilflächenspezifische Verteilungs- und Umverteilungspotenzial gegenüber der GHK C ist den Tab. 12, Tab. 13 und Tab. 14 ab S. 58 zu entnehmen.

- Auf Basis derselben Bodenartbestimmung kann die teilflächenspezifische Düngung zu mehr oder weniger Nährstoffmengen und Nährstoffkosten führen als bei schlagspezifischer Düngung.

### Vorkosten teilflächenspezifischer Düngung

Neben den Nährstoffkosten haben auch die Kosten für Probennahme, Bodenuntersuchung und Streukartenerstellung eine Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit der teilflächigen Grunddüngung.

Die Abb. 30 gibt einen Überblick über Teilflächenkosten von der Probennahme bis zur Streukarte für eine Grunddüngung im 1 ha-Raster. Differenziert wird zum einen die Fruchtfolgedauer, um dessen monetäre Auswirkungen auf die Vorkosten darzustellen. Die für die jeweiligen Abschnitte angesetzten Preise lehnen

an Dienstleisterangaben an. Der Kostenblock für Flächenerfassung, Probennahme und Nährstoffuntersuchung ist je Fruchtfolgedauer variiert. Dahinter steht eine Preisstaffelung für unterschiedliche Betriebsgrößen bzw. eine Kostendegression pro Hektar mit steigender Gesamtfläche. Für den Block Schlämmanalyse leiten sich die anteiligen Schlämmanalysenkosten der Fruchtfolge aus dem Anteil der Fruchtfolgedauer an der Gesamtnutzungsdauer bzw. dem Gesamtpreis ab. Im Projekt wurden Streukarten für alle 4 Grundnährstoffe angeboten. Es ist jedoch zu hinterfragen, ob die für Magnesium im Betrieb umsetzbar bzw. nutzbar sind. Zusätzlich zu den Kosten pro ha und Fruchtfolge sind die entsprechenden Gesamtkosten einer Fruchtfolge für die komplette Projektfläche bzw. für den gesamten Abschreibungszeitraum der Schlämmanalyse berechnet. Je nach Fruchtfolgedauer bzw. Preis einzelner Dienstleistungen ergeben sich je Hektar Kosten zwischen ca. 39,50 € und 51,83 €. Auf die Projektfläche hochgerechnet, sind das je nach Fruchtfolge 12.624 € bis 16.566 €. Für die Gesamtfläche von 320 ha und den gesamten 30-jährigen Abschreibungszeitraum der Schlämmanalyse kalkuliert, betragen die Kosten abhängig vom Fruchtfolgeturnus zwischen 80.220 € und 157.202 €. Je länger die zeitraumunabhängigen Kosten, wie Probenahme- bzw. Streukartenkosten, genutzt werden können, umso stärker ist die Kostendegression bzw. umso kostengünstiger wird es innerhalb eines konkreten Gesamtzeitraumes. Bei 25 € Probennahmekosten etc. steigen die Gesamtkosten für 30 Jahre von 89.080 € bei 5 jähriger Fruchtfolge, über 109.463 € bei 4 jähriger Fruchtfolge auf 142.222 € bei 3 jähriger Fruchtfolge an. Die Reduktion um ein Jahr von einem 5 auf einen 4 jährigen Untersuchungszyklus kostet in Summe ca. 20.000 € mehr. Das sind bei 30 Jahren ca. 670 €/Jahr bei 320 ha. Offen ist jedoch, inwieweit der jeweilige Untersuchungsturnus die Nährstoffkosten bzw. die Nährstoffversorgung auf längere Sicht beeinflusst.

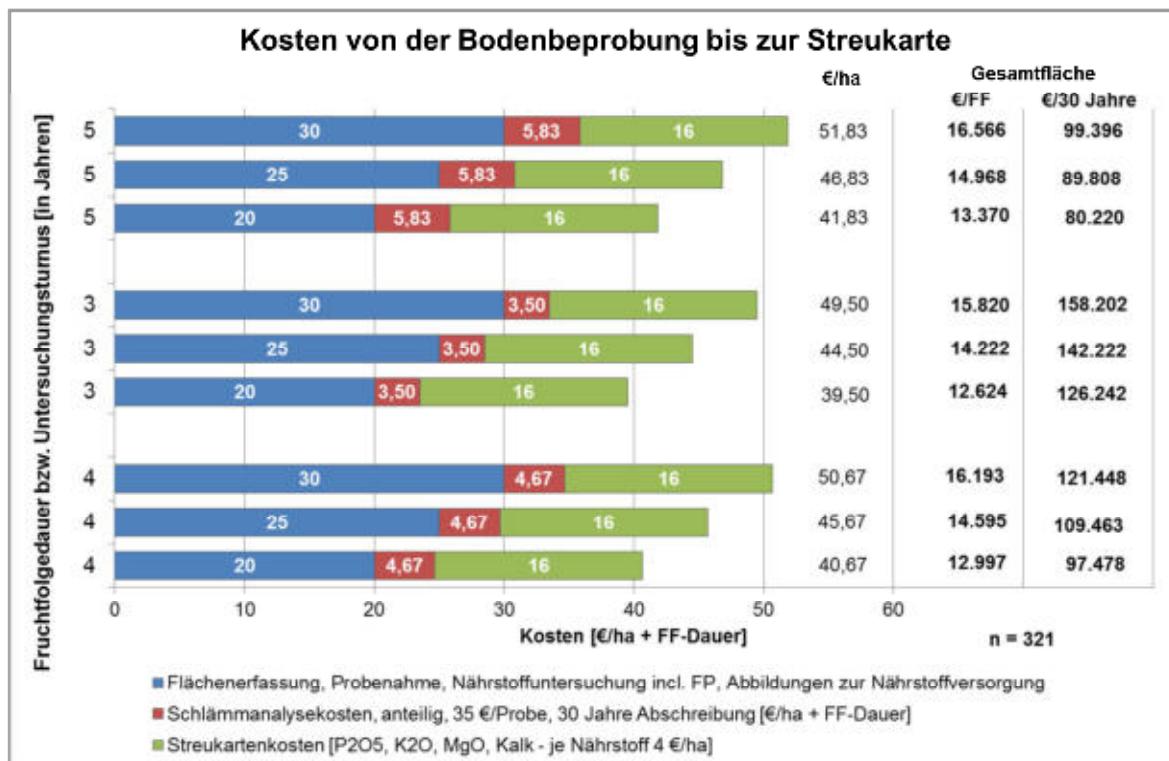


Abb. 30: Kosten für die Bodenprobennahme, Nährstoffanalyse, Bodenartbestimmung, Streukartenerstellung im 1 ha-Raster

Gegenüber einer teilflächenspezifischen Düngung im 1 ha-Raster reduziert sich bei einzelenschlagbezogener Düngung durch ein größeres Raster die Probenanzahl. Damit verbunden sind geringere Kosten für die Probennahme und die Bodenuntersuchung je Schlag und für die Gesamtfläche. Eine schlagbezogene Grunddüngung am Standort würde auf einem 3 ha-Raster beruhen. Ihr Düngebedarf würde auf dem mittleren Nährstoffgehalt und der mittleren Bodenart des Einzelschlages berechnet werden. Neben geringeren Probennahme und Untersuchungskosten entstehen bei schlageinheitlicher Grunddüngung keine Streukartenkosten. Wirtschaftlich ist eine teilflächenspezifische Grunddüngung,

wenn die höheren Vorkosten der teilflächenspezifischen gegenüber der schlagspezifischen einheitlichen Grunddüngung durch Kosteneinsparungen bei den Nährstoffen oder durch Ertragssteigerungen ausgeglichen werden können. Bei einer 4-jährigen Fruchtfolge und Ausgaben von 25,- € für Probenahme und Bodenuntersuchung je 3 ha Raster sowie den anteiligen Schlämmanalysekosten ergeben sich Probenkosten von insgesamt 29,67 €/Probe. Bezogen auf die Projektfläche und 107 Teilflächen sind das für die 4-jährige Fruchtfolge Kosten von 3.174 €. Gegenüber den Vorkosten bei teilflächiger Düngung von 14.595 € bleibt eine Differenz von 11.421 €. Das entspricht Mehrkosten der teilflächigen gegenüber der schlagbezogenen Grunddüngung von 35,73 €/ha und Fruchtfolge bzw. 8,93 €/ha und Jahr.

Die Mehrkosten von 35,73 €/ha in 4 Jahren für diesen Bereich des teilflächenspezifischen Düngens werden durch die Einsparung von 47 kg P2O5/ha bei 0,76 €/kg P2O5 oder von 67 kg K2O/ha bei 0,53 €/kg K2O oder von 596 kg CaO/ha bei 0,06 €/kg CaO ausgeglichen.

Alternativ könnten die auf jährliche Basis umgerechneten Mehrkosten von 8,93 €/ha durch Mehrerträge kompensiert werden. In der zweiten Projekthälfte wurde durchschnittlich für Standardqualität bei Winterraps 35,89 €/dt, bei Wintergerste 14,64 €/dt, bei B-Winterweizen 16,46 €/dt und bei Futterweizen 15,74 €/dt notiert. D. h. beim Raps wird eine viertel Dezitonnen und beim Getreide ca. eine halbe Dezitonnen Mehrertrag zum Ausgleich der höheren Kosten bei teilflächenspezifischer gegenüber schlagspezifischer einheitlicher Düngung gebraucht. In der Betrachtung sind die Mehrkosten für eine höhere technische Ausstattung zur Umsetzung der teilflächenspezifischen Grunddüngung noch unberücksichtigt. Außerdem geht sie davon aus, dass die Bodengehalte sowie die Gehaltsklassen der einzelnen Grundnährstoffe durch differenzierte Grunddüngung angeglichen und optimiert werden können.

- Teilflächige Düngung hat höhere Vorkosten im Vergleich zur schlageinheitlichen Grunddüngung.

### Insgesamt

Vom Grundsatz her scheint trotz langjähriger teilflächenspezifischer Grunddüngung ein weiterer teilflächenspezifischer Düngungsbedarf vorhanden zu sein.

Es lässt sich nicht abgrenzen, ob und in wieweit die praktische Umsetzung im Betrieb verglichen mit einer Anwendung strikt nach Richtwerten für die Düngung 2013 ursächlich für eine erwartete resp. fehlende stärkere Homogenisierung ist. Fakt ist, dass im praktischen Betrieb ggf. andere Restriktionen greifen und die Richtwerte nicht oder nur eingeschränkt umsetzbar sind. Bis zum Projektende war es der Klärschlamm, der die betrieblichen Phosphat- und Kalkkosten minimiert und die Umsetzung der Richtwerte teilweise begrenzt hat. Mit der neuen DüngeVO kehrt der Betrieb jedoch von diesem organischen Betriebsmittel ab. Hinzu kommt, dass über einen weiten Zeitraum der Pragmatiker-Ansatz angewendet wurde. Das ist dem Umstand geschuldet, dass der beabsichtigte Einkauf zusätzlicher Dienstleistungen in der Grunddüngung (Streukartenerstellung) durch Abweichungen bei den Nährstoffmengen im Vergleich zu den Richtwerten nicht umgesetzt werden konnte. Die notwendige Erstellung der Grunddüngungsmatrizen auf Basis der Richtwerte durch das Projektteams hat viel Arbeitskapazität gebunden. Das galt auch für die Berechnung der Teilflächenmengen, die anfangs noch manuell aus den Matrizen abgeleitet wurden. Später wurde dieser Prozess über einfache Excel-Dateien und -formeln verbunden mit entsprechendem Arbeitsaufwand anteilig automatisiert. Wegen der Aufgabenvielfalt und des Arbeitspensums der meisten Praktiker ist nicht davon auszugehen, dass der durchschnittliche Betrieb bzw. die Masse der Betriebe das ebenfalls leisten können. Wünschenswert wäre für die Praxis (Landwirt, Berater und/oder externer Dienstleister) Zugang zu einer frei verfügbaren Software, der die dezidierten regionalen Düngeempfehlungen zugrunde liegt.

Letzten Endes haben einzelbetriebliche Notwendigkeiten in Kombination mit dem begrenzten Projekthaushalt dazu geführt, dass die komplette Umsetzung der Richtwerte nicht überprüft und bewertet werden konnte. Und das, obwohl anfangs noch nicht absehbare schlussendliche aber Mehrausgaben im Projekt getätigt wurden. Damit fehlt auch die Grundlage, um Ursachen für die ausbleibende Homogenisierung sicher eingrenzen und mögliches Verbesserungspotenzial abschätzen zu können.

Eine vollständige Umsetzung der teilflächenspezifischen Grunddüngung nach Richtwerten für die Düngung Schleswig-Holstein 2013 hätte das Projekt-Gesamtbudget um weitere nicht geplante 170.000 € bis 220.000 € nur für Nährstoffe belastet.

Es lässt sich abschließend nur festhalten, dass das alleinige Variieren von Nährstoffmengen nicht zu einer Homogenisierung bzw. hochgradigen Homogenisierung (100 % der Teilflächen in Gehaltsklasse C) geführt hat. Bei Betrachtung der mehrjährigen Bodengehalte zeigen sich für alle Nährstoffe unabhängig davon, ob eine einheitliche Düngung vorausgegangen war oder langjährig teilflächenspezifisch gedüngt wurde schwankende Bodengehalte der Teilflächen.

- Über die derzeit anerkannten Methoden und Ansätze kann die Bodenart am Standort Helmstorf (Östliches Hügelland) nicht eindeutig bestimmt werden. Die größten Bodenartunterschiede ergeben sich für alle Versuchsschläge generell zwischen Fingerprobe und Schlämmanalyse. Aber auch die unterschiedlichen Ansätze zur Bodenartenableitung nach Schlämmanalyse führen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die Bodenart ist jedoch entscheidend für die Ermittlung der Nährstoffversorgung und des Düngedarfs bei Kalium, Magnesium und Kalk.
- Der Praktiker braucht eine verlässliche Bodenartbestimmung. Dieses gilt für flächeneinheitliche Düngung ebenso wie für teilflächenspezifische Verfahren im Ackerbau bzw. Grünland. Das schließt mit ein, die Standorte deren Böden ausreichend sicher mit der Fingerprobe bestimmt werden können und diejenigen, für die die Schlämmanalyse benötigt wird, sicher anhand einfacher nachvollziehbarer Parameter entsprechend differenzieren zu können.
- Der VDLUFA empfiehlt auf Nachfrage bei einer Schlämmanalyse, die Bodenart auf Basis von Ton und Schluff abzuleiten.
- Eine Homogenisierung konnte bei den einzelnen Nährstoffen auch nach fast 10 Jahren teilflächenspezifischer Düngung unter Praxisbedingungen nicht erreicht werden.
- Unter praktischen Bedingungen gibt es viele zusätzliche Faktoren, die das in Umsetzung befindliche teilflächenspezifische Düngeergebnis beeinflussen können bzw. berücksichtigt und in die Gesamtplanung einzbezogen werden müssen.
- Jeder Praktiker sollte sich damit auseinandersetzen, was sein teilflächenspezifischer Ansatz konkret an Mengenansätzen beinhaltet. Insbesondere auch im Hinblick auf Nährstoff-Salden.
- Die Nährstoffkosten bei teilflächiger Grunddüngung sind nicht per se niedriger, sondern sie können auch höher als bei schlagspezifischer Düngung ausfallen.
- Teilflächenspezifische Grunddüngung geht mit anderen Vorkosten in den wirtschaftlichen Gesamtvergleich ein.

### 6.3. Bodenbearbeitung

Mit einer angepassten und reduzierten Bodenbearbeitung wurden folgende Verbesserungen erwartet:

- Kostenreduzierung
- Verbesserung Bodenstruktur durch reduzierte Überfahrten
- Verbesserung Bodenleben durch weniger Eingriff
- Verbesserung der Tragfähigkeit
- An die Bodengüte angepasste Tiefe (EM38)
- An das Relief angepasste Tiefe
  - Gleichmäßige Tiefe an Kuppen/Senken
- An den Ertrag angepasste Tiefe
  - Sichere Stroheimmischung
- Schlagkraft erhöhen, höhere Geschwindigkeit
- Einsparung von Kraftstoff
- Reduzierung von Verschleiß

Für den Vergleich der verschiedenen Ansätze wurden auf den Versuchsschlägen drei Varianten Pflug-, Mulch und Direkt-bzw. Stripdrill-Saat angelegt (Abb. 31).

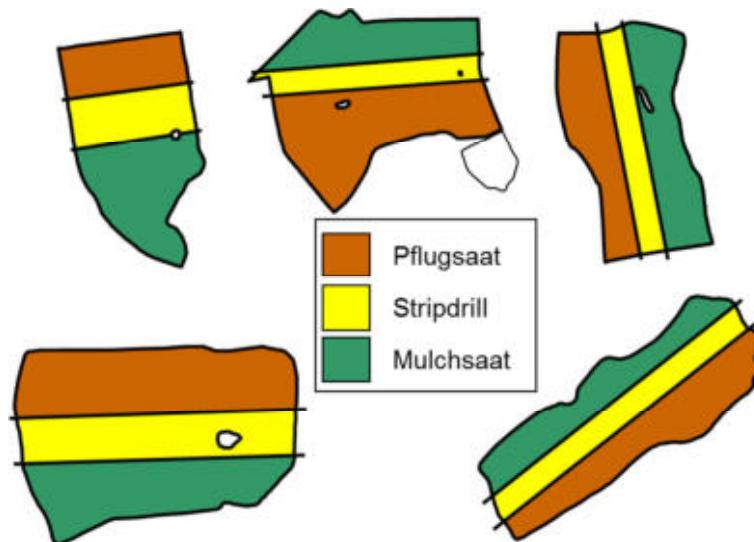


Abb. 31: Varianten Bodenbearbeitung

### 6.3.1. Technische Realisierung

#### 6.3.1.1. Mulchsaat

Für teilflächige Bodenbearbeitung mit variabler Tiefenführung bot sich lediglich das Grubbern in der Mulchsaatvariante an.

Zu Projektbeginn wurde festgelegt, dass die technische Erprobung eines Grubbers zunächst auf Betriebsschlägen erfolgt und erst bei sicherer Funktion in die Versuche übernommen wird. Diese Funktionssicherheit ist während der gesamten Laufzeit des Projekts mit keinem Gerät erreicht worden.

Grundlage für teilflächenspezifische Sollwert-Tiefenkarten war ebenfalls die EM38 Messung. Dabei wurden analog zu den Aussatkarten drei Tiefenklassen festgelegt. Die schweren Teileflächen eines Schlages werden durch natürliche Quell- und Schrumpfprozesse im Jahresverlauf von sich aus gelockert und müssen daher mechanisch weniger intensiv bearbeitet werden. Leichte und sandige sowie schluffige Teileflächen neigen zu dichter Lagerung und müssen daher mechanisch intensiver also tiefer bearbeitet werden. Um eine deutliche Abstufung sicherzustellen, wurde eine Abstufung von mindestens 5 cm zwischen den Tiefenklassen festgelegt. Für Raps gilt beispielsweise 17/22/27 cm, für Getreide 10/15/20 cm.

Alternativ denkbar wäre auch eine Sollwertkarte nach Ertragskartierung. Infolge des Korn-zu-Stroh-Verhältnisses wären Hochertragszonen tiefer zu bearbeiten, um eine ausreichende Durchmischung von entsprechend größerer Strohmengen und Boden sicherzustellen. Ebenso könnte das Relief in die Kartenerstellung einfließen, um die wechselnde Arbeitstiefe des Grubbers auf Kuppen und in Senken auszugleichen.

Die Entwicklung von Sensoren für die Tiefenführung ist für den Praxiseinsatz bisher noch nicht umgesetzt. Unabhängige wissenschaftliche Versuche zur Tiefenführung nach verschiedenen Parametern mit Hinweisen zur praktischen Umsetzung gibt es bisher nicht. Bei verschiedenen Herstellern gibt es aber technische Ansätze einer Tiefenführung, bei der die Bearbeitungstiefe während des Grubbers in der Fahrt variiert werden kann.

## Phase 1: Amazone Centaur 2008 – 2011

Die Gutsverwaltung Helmstorf hat schon vor Beginn des Projekts mit Fa. Amazone bei der Grubberentwicklung zusammengearbeitet. Im Projekt wurde daher zu Beginn ein Centaur (Abb. 32) eingesetzt, der in Zusammenarbeit mit der Universität Halle mit einer automatischen Tiefenführung ausgerüstet wurde.



Abb. 32: Raupe und Centaur mit automatischer Tiefenführung (Foto: Obenauf)

Die Ansteuerung erfolgte über ein Iso-Bus-Terminal und ein Maschinenterminal. Das Iso-Bus-Terminal steuerte das Ausheben am Vorgewende und die Höhenverstellung im manuellen Betrieb.

Die von der Ackerschlagsoftware gelieferte Tiefenkarte musste anfänglich manuell nachbearbeitet werden. Der Parameter Tiefe konnte nicht Iso-Bus-konform umgesetzt werden. Die Ackerschlagsoftware kennt nur Einträge in „kg/ha“ oder „l/ha“. Die für den Grubber erforderliche Einheit „cm“ kann nicht geschrieben werden.

In der ersten Ausbaustufe wurde der von der Zugmaschine bereitgestellte Hydraulikölstrom mit einfachen Mengenteilern auf die fünf Zylinder der Tiefenführung aufgeteilt. Dieses Vorgehen führte zu einer ungleichmäßigen Verstellung der Tiefe bis hin zu zerstörten Zylindern, die nach einigen Verstellzyklen gegenläufig statt parallel arbeiteten. In der nächsten Ausbaustufe wurden die zur Tiefenführung notwendigen fünf Zylinder einzeln angesteuert. Dazu wurde jeder einzelne Zylinder mit einer elektronischen Längenmessung ausgestattet und über einen speziellen Hydraulikblock individuell angesteuert.

Um auf verschiedene Scharformen und die Abnutzung der Schare reagieren zu können, muss die Tiefe regelmäßig überprüft und ggf. kalibriert werden. Dazu wird auf dem Feld der Nullpunkt (Schare berühren gerade den Boden) jeweils manuell angefahren und im System gespeichert. Von diesem Punkt aus wird dann die in der Sollwertkarte vorgegebene Tiefe automatisch angefahren. Dieser Nullpunkt kann auch nachträglich verändert werden, wenn die vom System eingestellte und die nachgemessene Tiefe nicht übereinstimmen.

## Phase 2: Köckerling Vector 2011–2017

Im Jahr 2011 wurde der Centaur durch einen Köckerling Vector (Abb. 33) ersetzt. Dieser Grubber hat nur einen Zylinder, der zur Tiefensteuerung angesteuert wird. Durch die verdrängte Ölmenge aus diesem Zylinder werden die nachfolgenden Zylinder synchron bewegt. Das vereinfacht die Ansteuerung. Zum Einsatz kommt ein Iso-Bus-Terminal von WTK-Elektronik, das zunächst auch nur Iso-Bus-konforme Tiefe verarbeiten konnte.



Abb. 33: Körckerling Vector (Foto: Obenauf)

Nach Problemen bei der Iso-Bus-konformen Sollwertkartenerstellung in der ersten Saison ist die Elektronik angepasst worden, dass sie Aufträge für Pflanzenschutzspritzen abarbeiten kann. Dazu wurde festgelegt, dass 10 l/ha einer Tiefe von 1 cm entsprechen. Die Software auf dem Terminal ermöglicht ebenfalls die Kalibrierung des Nullpunkts der Tiefenführung.

Die Tiefensteuerung hat bis zum Projektende keine ausreichende Stabilität erreicht, um in die Versuche aufgenommen zu werden.

Die Mulchsaat ist über die gesamte Projektlaufzeit mit konstanten Tiefen erstellt worden.

### 6.3.1.2. Direktsaat / StripDrill

#### Phase1: Direktsaat mit Claydon 2008 – 2009

In der Direktsaatvariante wurde in den Erntejahren 2008 und 2009 eine Direktsaatmaschine der Fa. Claydon eingesetzt (Abb. 34).



Abb. 34: Drillmaschine Claydon (Foto: Obenauf)

Dieses Bodenbearbeitungs- bzw. Aussaatverfahren führte insbesondere auf schweren Teilflächen zu nicht wiederverfüllten Säschlitzten nach der Aussaat. Für eine sichere Saatbedeckung fehlte Feinerde, die sich bei anderen Verfahren anteilig durch die Bodenbearbeitung und Aussaattechnikwerkzeuge ergibt. Während der Keimungs- und Etablierungsphase konnten vor allem Schnecken ungehindert entlang der offenen Saatreihen die Pflanzen dezimieren. Neben den grundsätzlich für Schneckenvorkommen günstigen Bedingungen, die schwere Teilflächen bieten, waren die feuchten Bedingungen in den beiden Jahren mit dafür verantwortlich, dass es zu großflächigen Bestandslücken kam. Diese ließen sich trotz des intensiven Schneckenmonitorings und intensiver Schneckenbekämpfung nicht verhindern und waren im Wesentlichen ein Problem in den Rapsbeständen. In den offenen Säschlitzten vom Boden unbedeckte Saat stellt in Verbindung mit Herbizidmaßnahmen jedoch auch im Wintergetreide ein Problem für die sich entwickelnden Pflanzenbestände dar.

Einen Überblick über den Anteil schwerer, bei Ackerschnecken beliebter Teilflächen zeigt Abb. 45 (S. 87). Je nach Witterung und Feuchteverhältnissen können sie ihr räumliches Schadausmaß in

Pflanzenbeständen auch auf die übrigen leichteren Teilflächen ausdehnen. Die Bestände konnten diesen Nachteil über die Vegetation nicht mehr aufholen.

Die Mengendosierung dieser Maschine war in der ersten Saison nicht automatisch über eine Vorgabenkarte ansteuerbar. Die Einstellung der Saatmenge erfolgte daher manuell. Die Dosierung ließ nur eine geringe Varianz zu, sodass die mittlere Aussaatklasse nicht in voller Höhe und die höchste Aussaatklasse gar nicht ausdosiert werden konnte, abweichend von den anderen Varianten mit betriebseigener Sätechnik.

### Phase 2: Direktsaat Väderstad Seedhawk 2010 – 2013

Zur Weiterentwicklung des Verfahrens wurde mit der Aussaat im Jahr 2009 auf eine Väderstad Seedhawk (Abb. 35) mit schmäleren Säscharen und Unterfußdüngung umgestellt.



Abb. 35: Drillmaschine Väderstad Seedhawk (Foto: Borchardt)

Anfänglich zeigten sich Erfolge, die anteilig mit der Unterfußdüngung und dem vorgeschalteten Strohstriegleinsatz sowie dadurch besserer Bestandsetablierung in Verbindung gebracht wurden. Mit der Aussaat wurde eine 1 dt DAP/ha unter Fuß platziert. Die Phosphat- und Stickstoffmengen aus der Unterfußdüngung wurden in den anderen Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren zu einem späteren Zeitpunkt ausgeglichen. Großflächige Teilflächenausfälle durch Schnecken- und Mäuseschaden waren u. a. aufgrund der Witterung anfangs jedoch kein Thema. Es zeigten sich anschließend vorwiegend bei Wintergetreide häufig geringere Erträge, die anteilig durch Ährendichtezählungen erklärt werden konnten. Um das in der Bodenbearbeitung kostengünstige Verfahren der Direktsaat im Versuch bzw. für die Praxis zu erhalten, wurde versucht, es durch weitere Anpassungen zur Absicherung von Erträgen weiterzuentwickeln. Die Grundaussaatstärke in den direktgesäten Wintergetreidebeständen wurde daher pauschal um 20 % erhöht sowie die Saatstärkenstaffelung in den höheren Aussaatklassen entsprechend angepasst. Trotzdem blieb die Direktsaat mit der Väderstad Seedhawk im Getreide die ertragsschwächere Variante.

Auch auf den Rapsschlägen kam es im Erntejahr 2013 aufgrund der schwierigen Wetterbedingungen im Herbst 2012 auf den Direktsaatvarianten zu großflächigen Bestandsausfällen und damit verbundenen deutlichen Ertragseinbußen, trotz intensiver und aufwendiger Schädlingsbekämpfung (Schnecken, Mäuse, Abb. 36).

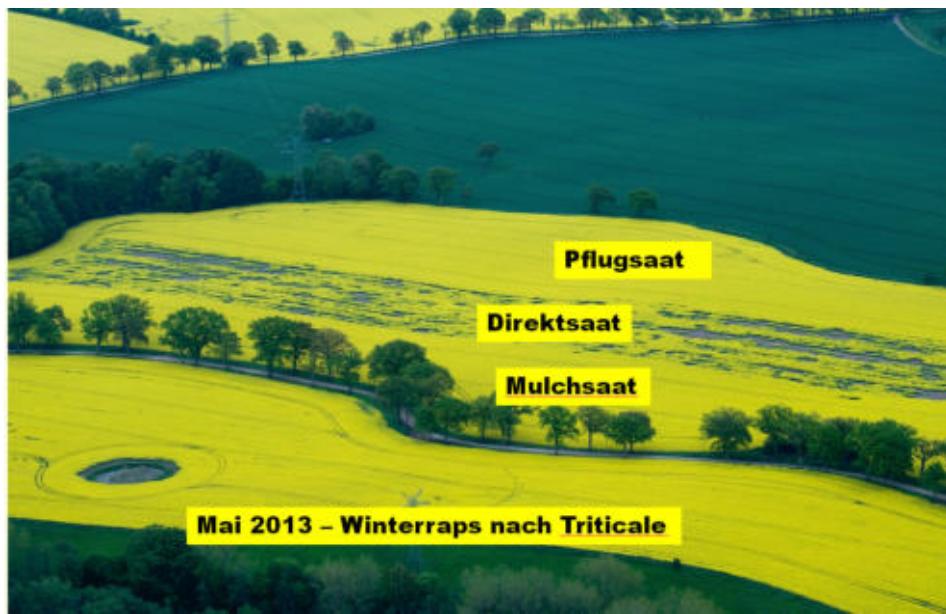


Abb. 36: Bodenbearbeitungsschlag Krutschenkamp zur Rapsblüte Mai 2013 (Foto: Obenauf)

### Phase 3: StripDrill Väderstad Spirit 2014 – 2017

Aufgrund der Erfahrungen aus den Vorjahren mit dem Minimalbodenbearbeitungsverfahren Direktsaat wurde nach einem alternativen Verfahren gesucht, das wieder mehr und flächig Boden bearbeitet, um Mäuse und Schnecken zu stören, sowie einen höheren Feinerdeanteil zur Saatschlitzverfüllung zu erzeugen. Mit dem Verfahren sollte weiterhin ein Kostenvorteil in der Arbeitserledigung gegenüber dem Mulchsaatverfahren sowie eine ausreichende Ertragsstabilität verbunden sein. Es bot sich ein StripDrill-Verfahren an, bei dem zunächst der gesamte Schlag flach bearbeitet und zur Aussaat nur der unmittelbare Saatbereich tief gelockert wird. Mit der „Spirit“ von Fa. Väderstad (Abb. 37) wurde eine entsprechende Maschine erprobt.



Abb. 37: Drillmaschine Väderstad Spirit 400C (Foto: Borchardt)

Das Verfahren war im Projekt extensiver aufgebaut als vom Hersteller empfohlen, um einen Kostenvorteil gegenüber der Mulchsaat zu sichern. In der Praxis wurde der Vorteil der reduzierten Arbeitsgänge der Saatbettbereitung durch den enormen Zugkraftbedarf bzw. die dadurch geringere Vorfahrtsgeschwindigkeit und die geringere Arbeitsbreite (im Vergleich zur Rapid-Drillmaschine auf den anderen Varianten) während der Aussaat teilweise kompensiert.

### 6.3.1.3. Pflugsaat

Pflugsaatvarianten wurden seit Projektbeginn ebenso wie die Mulchsaatvarianten mit der Väderstad Rapid des Betriebes gedrillt. Pflanzenbaulich waren diese Feldbestände gut etabliert. Eine verstärkte Schädlingsproblematik konnte nicht festgestellt werden.

Während die Direkt- und die Mulchsaatflächen in der Projektphase ausschließlich entsprechend der jeweiligen Bodenbearbeitungsvariante bewirtschaftet wurden, wurde in den Pflugvarianten zum Weizen nach Raps auf den Pflugeinsatz verzichtet. Rapsweizen wird auf dem Betrieb Gut Helmstorf, sowie in vielen anderen Betrieben inzwischen in Mulchsaat bestellt. Das Verfahren ist etabliert und bietet hinsichtlich der Arbeitsorganisation sowie der Wirtschaftlichkeit Vorteile.

Die gesamten Ergebnisse der Ernte 2011 konnten nicht in die Wertung einbezogen werden. Die Wetterbedingungen ließen nur eine erschwerte Aussaat und Etablierung der Bestände 2010 zu. Dieses Jahr wurde dann durch ungewollte aber erforderliche Fruchtfolgeumstellungen geprägt. Weil Winterkulturen aufgrund der Herbstwitterung nicht mehr gesät werden konnten oder im frühen Frühjahr durch Kahlfröste ausgewintert waren, standen die im Projekt nicht geplanten sowie betriebs-, regions- und betriebstyp-untypischen Kulturen Triticale, Sommerweizen, teilweise Sommerraps und Silomais im Feld.

- Eine sichere Ansteuerung der Bearbeitungstiefe mittels Grubber ist noch nicht möglich.
- Direktsaat ist unter den Bodenbedingungen in Helmstorf nicht erfolgreich.
- Wechsel zu StripDrill mit flacher Vorarbeit reduziert im Vergleich zur Direktsaat die standortspezifischen Verfahrensprobleme.

### 6.3.2. Wirtschaftlichkeitsberechnungen 2008 bis 2013

Das Projekt wurde zu Beginn mit dem Vergleich der Bodenbearbeitungsverfahren Pflugsaat, Direktsaat und Mulchsaat geplant und im Folgenden bis zur Ernte 2013 auf Basis der Direkt- und arbeiterledigungskostenfreien Leistung verglichen. Die darin einbezogene Marktleistung setzt sich aus den jeweiligen Erträgen und Qualitäten bzw. Qualitätspreisen zusammen. In den Direktkosten sind Saatgut, Pflanzenschutz- und Düngemittel, Hagelversicherung sowie ein Zinsansatz für das Umlaufkapital enthalten. Im Pflanzenschutzmittelbereich sind die Liter- und Kilogrammpreise der größten Gebindeeinheiten je Pflanzenschutzmittel angesetzt worden. Bei den Düngemitteln kommen die Preisnotierungen für Ware frei Hof ab 25 t zum Ansatz. Über alle Positionen wurde durchgängig mit Nettopreisen des Landhandels sowie der Preisermittlungen der Landwirtschaftskammer kalkuliert. Die Arbeitserledigungskosten umfassen die Maschinen- und Personalkosten und werden anteilig und verfahrensspezifisch berechnet. Anteilig, da sie ausschließlich die Arbeitserledigungskosten von der Bodenbearbeitung bis zum Mähdurst umfassen. Verfahrensspezifisch, da jeder Arbeitsgang entsprechend der Häufigkeit und der Arbeitsintensität separat pro Hektar und Durchfahrt bewertet wird. Die dafür notwendigen Abschreibungen berechnen sich unter anderem aus Anschaffungs- und Restwerten für Maschinen und basieren auf der Datenbank der Landwirtschaftlichen Unternehmensberatung Schleswig-Holstein. Wartungs-, Reparaturkosten sowie Dieselkosten sind mit den betrieblichen Daten und Daten der Landwirtschaftlichen Unternehmensberatung abgeglichen.

Bei der mehrjährigen fruchtartenübergreifenden betriebswirtschaftlichen Auswertung auf Basis der Betriebstypen wird in Abb. 38 deutlich, dass die Marktleistung der Bodenbearbeitungsverfahren vergleichsweise große Unterschiede aufweist. Im fünfjährigen Durchschnitt über alle Fruchtfolgeglieder zeigt die Direktsaat deutliche Ertragseinbußen mit Ausnahme der Wintergerste und somit eine geringere Marktleistung von 134 €/ha im Vergleich zur Pflugsaat und 85 €/ha im Vergleich zur Mulchsaat. Aufgrund des verstärkten Herbizid- und Schneckenkorneinsatzes in der Direktsaat liegen die Direktkosten ca. 65 €/ha über den Ausgaben der Pflug- und Mulchsaat. Hingegen zeigt die Direktsaat ihre Vorteile in der preiswerten Arbeitserledigung mit 339 €/ha. Durch die fehlende bzw. Minimalbodenbearbeitung ist die Direktsaat 87 €/ha günstiger im Gegensatz zur Pflugsaat und 45 €/ha im Vergleich zur Mulchsaat.

Schlussendlich erzielt die Pflugsaat mit 824 €/ha die größte Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL). Eine vergleichbare Leistung erzielt die Mulchsaat, die ihre fehlende Ertragsleistung durch die etwas geringeren Bodenbearbeitungskosten relativiert. Die Direktsaat bildet eindeutig das Schlusslicht der drei Bodenbearbeitungsverfahren und erwirtschaftet rund 110 €/ha weniger. Zwar können Arbeitserledigungskosten anteilig eingespart werden, dieser Vorteile wird aber durch die höheren Pflanzenschutzkosten wieder aufgehoben. So schlagen die Ertragseinbußen voll durch, die für den geringeren Erlös in der Direktsaat und ihr insgesamt schlechtes Abschneiden verantwortlich sind.

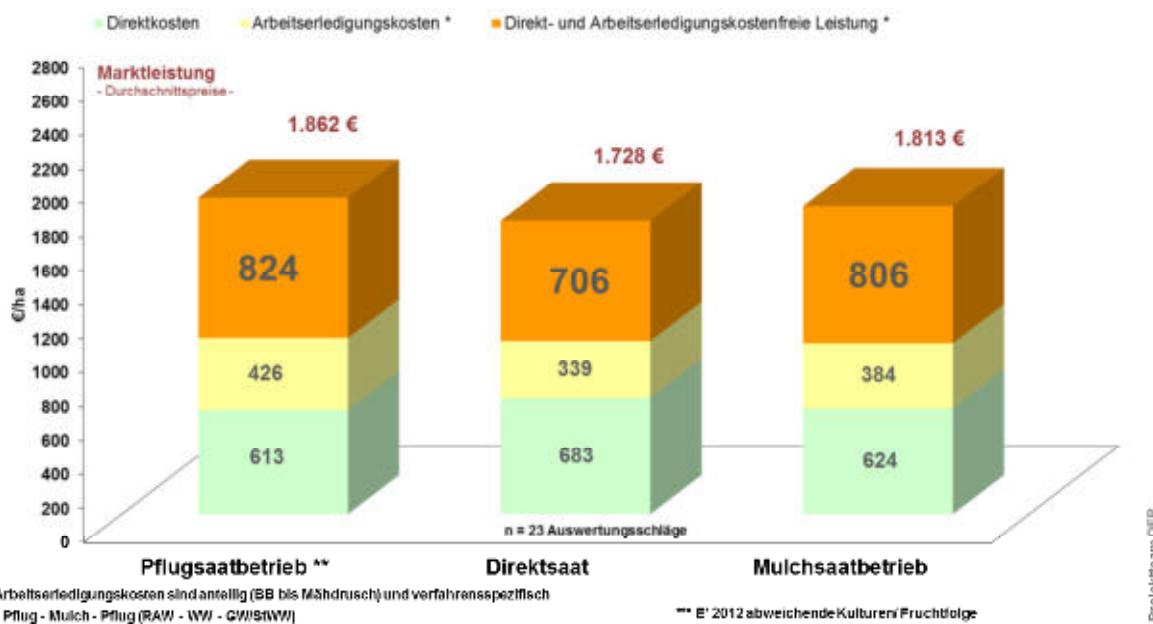


Abb. 38: Wirtschaftlichkeit der Bodenbearbeitungsverfahren von 2008 bis 2013 (ausgenommen 2011). Mittel der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste/Weizen.

Im Folgenden werden die Unterschiede der Verfahren in ihrer Wirtschaftlichkeit in den einzelnen Fruchtfolgeglieder Raps, Weizen, Stoppelweizen und Gerste betrachtet. Die Rapsergebnisse basieren auf sieben Auswertungsschlägen (Tab. 18). Zusätzlich zu den nicht auswertbaren Ergebnissen 2011 gab es zur Ernte 2012 ebenfalls keine Rapsergebnisse. Witterungsbedingt konnte kein Winterraps auf den Projektschlägen ausgesät werden. Insgesamt hatte die Gutsverwaltung Helmstorf eine Anbaufläche zur Ernte 2012 von knapp 300 ha Winterraps geplant. Davon konnte nur ein 42 ha Schlag zu drei Terminen bestellt werden. Im Mittel über die Jahre stellt die Pflugsaat im Raps den höchsten Erlös mit 1.939 €/ha dar, wobei sich die Mulchsaat auf gleichem Niveau befindet. Die Direktsaat erzielt aufgrund der Schnecken- und Mäuseproblematik geringeren Ertrag, woraus eine niedrigere Marktleistung von rund 175 €/ha resultiert. Aufgrund des verstärkten Herbizid- und Schneckenkorneinsatzes in der Direktsaat liegen die Direktkosten rund 60 €/ha über den Ausgaben der Pflug- und Mulchsaat. Hingegen zeigt die Direktsaat ihre Vorteile in der preiswerten Arbeitserledigung mit 370 €/ha aufgrund der fehlenden bzw. Minimalbodenbearbeitung. Jedoch wird der Unterschied zur Pflug- und Mulchsaat relativiert aufgrund des starken Mäusebefalls zur Ernte 2013. Die Arbeitserledigungskosten steigen deutlich an durch die zeitaufwendige Ausbringung der Mäuseköder. Schlussendlich zeigt die DAL den niedrigsten Betrag in der Direktsaat, der aus den hohen Ertragseinbußen durch den Schnecken- und Mäusefraß hervorgeht. Pflug- und Mulchsaat erzielen rund 200 €/ha mehr, wodurch betriebswirtschaftlich gesehen sich keine Direktsaat unter den Bedingungen etablieren kann.

Tab. 18: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Raps von 2008–2013 (ausgenommen Ernte 2011, 2012).

Raps [€/ha] 7 Auswertungsschläge	Pflugsaat	Direktsaat	Mulchsaat
Marktleistung	1.939	1.749	1.909
Direktkosten	661	727	675
Arbeitserledigungskosten	428	370	384
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	850	653	850

Im Weizen nach Raps werden vier Schläge in die Auswertung mit einbezogen, wobei zusätzlich zu den nicht auswertbaren Ergebnissen aus dem Jahr 2011 die Ernte 2008 keine Weizenergebnisse liefert. Im Mittel über die Jahre stellt die gemulchte Pflugsaat im Weizen nach Raps den höchsten Erlös mit 2.064 €/ha sicher (Tab. 19). Trotz identischer Bestandsführung erzielt die Mulchsaat ertragsbedingt eine ca. 50 €/ha geringere Marktleistung. Der Ertragsvorteil der Pflugsaat lässt sich jedoch nicht in jedem Jahr wiederfinden und wird hauptsächlich durch den geringeren Ertrag zur Ernte 2012 verschuldet. Die Direktsaat zeigt trotz des geringen phytosanitären Ausgangsmaterials und der guten Vorfrucht Raps deutliche Ertragseinbußen von, die sich in der geringeren Marktleistung von 140 €/ha im Vergleich zur Pflugsaatvariante widerspiegeln. Aufgrund des verstärkten Herbizid- und Schneckenkorneinsatzes in der Direktsaat liegen die Direktkosten rund 70 €/ha über den Ausgaben der Pflug- und Mulchsaat. Hingegen zeigt die Direktsaat ihre Vorteile in der preiswerten Arbeitserledigung mit 333 €/ha aufgrund der fehlenden bzw. Minimalbodenbearbeitung. Durch das Mulchen in der Pflugsaat bzw. die Einsparung des Pflügens wird der Unterschied jedoch relativiert und liegt bei rund 50 €/ha. Die Differenz in den Arbeitserledigungskosten der Pflug- und Mulchsaat basiert allein auf dem Zinsansatz im Maschinenvermögen. Schlussendlich zeigt die DAL den niedrigsten Betrag in der Direktsaat, der aus den hohen Ertragseinbußen durch den Schneckenfraß hervorgeht. Pflug- und Mulchsaat erzielen rund 160 €/ha bzw. 115 €/ha mehr, wodurch sich auch beim Rapsweizen keine Direktsaat unter den geprüften Bedingungen auf rechnet.

Tab. 19: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Rapsweizen von 2008–2013 (ausgenommen Ernte 2008, 2011).

Weizen nach Raps [€/ha] 4 Auswertungsschläge	Pflugsaat*	Direktsaat	Mulchsaat
Marktleistung	2.064	1.924	2.017
Direktkosten	510	579	510
Arbeitserledigungskosten	383	333	379
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	1.170	1.012	1.126

\* Pflug-Mulch-Pflug (RAW – WW – GW/SWW)

Im Stoppelweizen werden sieben Schläge in die Auswertung einbezogen. Für die Ernte 2011 liegen mangels einer Winterweizenaussaat auf den Bodenbearbeitungsschlägen keine Ergebnisse vor. Aufgrund der witterungsbedingten Fruchtfolgeumstellungen zur Aussaat 2010 und 2011 und die in den Folgejahren im Gesamtbetrieb bzw. über alle Schläge neu aufgebaute Fruchtfolge sowie restrukturierte Anbaublockbildung gab es auch zur Ernte 2013 keinen Stoppelweizen. Im Mittel über die Jahre stellt die Pflugsaat im Stoppelweizen den höchsten Erlös mit 1.775 €/ha sicher, wobei sich die Mulchsaat auf

gleichem Niveau befindet (Tab. 20). Die Direktsaat erzielt einen geringeren Ertrag, woraus eine niedrigere Marktleistung von rund 90 €/ha resultiert. Aufgrund des verstärkten Herbizid- und Schneckenkorneinsatzes sowie der höheren Saatgutkosten in der Direktsaat liegen die Direktkosten rund 70 €/ha über den Ausgaben der Pflug- und Mulchsaat. Hingegen zeigt die Direktsaat ihren Vorteil der preiswerten Arbeitserledigung, die rund 120 €/ha (Pflugsaat) bzw. 70 €/ha (Mulchsaat) weniger kostet. Schlussendlich zeigt die DAL auch im Stoppelweizen den niedrigsten Betrag von 655 €/ha in der Direktsaat. Die Differenz zur Pflug- und Mulchsaat ist jedoch relativ gering im Vergleich zu den anderen Fruchfolgegliedern Raps und Rapsweizen. Pflug- und Mulchsaat zeigen keinen nennenswerten Unterschied untereinander und erzielen eine um rund 60 €/ha höhere DAL im Gegensatz zur Direktsaat.

**Tab. 20: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Stoppelweizen von 2008–2013 (ausgenommen Ernte 2011, 2013).**

Stoppelweizen [€/ha] 7 Auswertungsschläge	Pflugsaat	Direktsaat	Mulchsaat
Marktleistung	1.775	1.674	1.751
Direktkosten	630	704	639
Arbeitserledigungskosten	436	315	387
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	709	655	725

Die Gerstenergebnisse basieren auf drei Auswertungsschlägen. Zur Ernte 2008 führte eine mehrtägige Ernteunterbrechung auf dem Gerstenschlag zu Ertragsunterschieden zwischen Variantengroßteilstücken. In 2010 und 2011 konnte auf den Bodenbearbeitungsschlägen aufgrund der Witterung und Bodenbedingungen keine Wintergerste bestellt werden. Im Mittel über die Jahre stellt die Pflugsaat in der Gerste den höchsten Erlös mit 1.627 €/ha sicher (Tab. 21). Die Direktsaat schneidet demgegenüber mit knapp 90 €/ha weniger Umsatz ab. Die Mulchsaat erzielt nochmals 75 €/ha weniger als die Direktsaat. Bezogen auf alle Fruchfolgeglieder hat in der Gerste die Direktsaat die geringsten und die Mulchsaat die größten Ertragsverluste gegenüber der Pflugsaat. Abweichend vom allgemeinen Trend erntet die Gerste in der Direktsaat mehr als die Mulchsaat. Dieser Trendumkehr wird hauptsächlich durch ein Erntejahr verursacht. Aufgrund des verstärkten Herbizideinsatzes in der Direktsaat liegen die Direktkosten rund 50 €/ha über den Ausgaben der Pflugsaat. In der Mulchsaat wurden ebenfalls verstärkt Herbizide eingesetzt, wodurch sich ein geringerer Kostenunterschied von rund 30 €/ha im Vergleich zur Pflugsaat erschließt. Die Direktsaat hat auch in der Gerste Vorteile durch ihre preiswerte Arbeitserledigung von 349 €/ha aufgrund der konservierenden Bodenbearbeitung. Trotz des zusätzlichen Arbeitsaufwandes für den Mäuseködereinsatz spart die Direktsaat 100 €/ha im Vergleich zur Pflugsaat ein. Schlussendlich zeigt die DAL den niedrigsten Betrag in der Mulchsaat von 503 €/ha, der vor allem auf den höheren Ertragseinbußen 2013 basiert. Ausschließlich die Gerste erzielt einen höheren Betrag (100 €/ha) in dem Direktsaatverfahren im Vergleich zur Mulchsaat. Aufgrund der geringeren Ertragseinbußen der Direktsaat im Vergleich zu den anderen Fruchfolgegliedern, ist die Differenz der DAL zur Pflugsaat deutlich geringer.

Tab. 21: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit in der Gerste von 2008-2013 (ausgenommen Ernte 2008, 2011, 2012).

Gerste [€/ha] 3 Auswertungsschläge	Pflugsaat	Direktsaat	Mulchsaat
Marktleistung	1.627	1.539	1.464
Direktkosten	542	591	570
Arbeitserledigungskosten	449	349	391
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	635	599	503

- Das Direktsaatverfahren ist für die Standortverhältnisse auf Gut Helmstorf aus wirtschaftlichen Gründen aufgrund zu hoher Ertragseinbußen ungeeignet und erzielte keine Kosteneinsparungen.
- Pflug- und Mulchsaatverfahren zeigen vergleichbare Ergebnisse.
- Im Raps erzielen die Mulch- und Pflugsaat die gleiche Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAL), im Winterweizen zeigt die gemulchte Pflugsaatvariante eine gering höhere DAL, im Stoppelweizen wiederum die Mulchsaat.
- Eine Ausnahme stellt dabei die Gerste, die deutliche Ertragseinbußen in einem Jahr in der Mulchsaat aufwies.

### 6.3.3. Wirtschaftlichkeitsberechnungen 2014 bis 2017

Seit 2014 ersetzt ein StripDrill-Verfahren die Direktsaat in der Erprobung aufgrund zu großer wirtschaftlicher und pflanzenbaulicher Nachteile. Die StripDrill-Variante ist im Vergleich zur Mulchsaat kostengünstiger konzipiert. Ihre Bodenbearbeitung erfolgt durch ausschließlich zweifache flache (max. 10 cm) Bearbeitung weniger aufwendig. Die Mulchsaat beinhaltet die Verwendung einer Kreiselegge, die in der Strip Drill-Variante wiederum eingespart wird. Zudem wird in der StripDrill-Variante in allen Fruchtfolgegliedern mit DAP zur Aussaat in einer Ablagetiefe von 20 cm unterflur gedüngt.

Das StripDrill-Verfahren wird auf Grundlage der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAL) mit der Pflug- und Mulchsaat verglichen. Die Zusammensetzungen sowie Preisermittlungen der einzelnen Positionen wird in der Wirtschaftlichkeit der Bodenbearbeitung 2008 bis 2013 (siehe Kapitel 6.3.2, S. 75) aufgeführt. Die in den Versuchen verwendete Drilltechnik stammt von der Fa. Väderstad. In der Pflug- und Mulchsaat wurde eine 6 m Rapid Drillmaschine eingesetzt. In der StripDrill-Variante wurde eine Spirit StripDrill-Maschine verwendet. Aufgrund der halben Arbeitsgeschwindigkeit und geringeren Arbeitsbreite der StripDrill-Maschine befindet sich die maschinelle Auslastung bei ca. 500 ha. Aus diesem Grund wurden für den 1000 ha-Betrieb Gut Helmstorf zwei Maschinen in den Arbeitserledigungskosten angesetzt. Eine 6 m StripDrill-Maschine war zu Projektbeginn noch nicht auf dem Markt erhältlich und wird aus wirtschaftlicher Sicht bei einem 1000 ha-Betrieb nicht kostengünstiger aufgrund der halben Arbeitsgeschwindigkeit und der nötigen hohen Schlepperleistung. Zudem ist aufgrund der Arbeitsbreite in Verbindung mit der halben Arbeitsgeschwindigkeit eine termingerechte Aussaat aufgrund derzeitiger wetterbedingter Einschränkungen nicht zu erreichen. Im Weizen nach Raps wird in den Pflugvarianten auf den Pflugeinsatz verzichtet. Rapsweizen wird dann in Mulchsaat erstellt, was sich in der Praxis etabliert hat. Es bietet hinsichtlich der Arbeitsorganisation sowie der Wirtschaftlichkeit Vorteile.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen im vierjährigen Durchschnitt über alle Fruchtfolgeglieder vergleichbare Erträge und somit eine vergleichbare Marktleistung der drei Bodenbearbeitungsverfahren, die bei rund 1.680 €/ha liegt (Abb. 39). Die Direktkosten der drei Verfahren liegen auf einem ähnlichen Niveau von ca. 560 €/ha. Die Arbeitserledigungskosten fallen aufgrund der

extensiven Bodenbearbeitung in der StripDrill-Variante mit 336 €/ha am geringsten aus. Aufgrund der intensiveren Bodenbearbeitung in der Pflug- und Mulchsaat unterliegen diese einem höheren Aufwand von ca. 60 €/ha und 30 €/ha. Aufgrund dessen erzielt das StripDrill-Verfahren mit 785 €/ha in der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAL) den größten Betrag. Das Mulch- sowie Pflugsaaatsaatverfahren erwirtschaften eine geringere bereinigte Leistung von 38 €/ha und 59 €/ha im Mittel über die gesamten vier Jahre sowie Fruchtfolgeglieder. In den Jahren 2014 und 2015 waren allgemein gute Wachstumsbedingungen gegeben. Sie zählen daher auch zu den Hochertragsjahren Schleswig-Holsteins, insbesondere trifft das für den Winterweizen und die Wintergerste zu. Aber auch unter schwierigeren Bedingungen der Ernte 2016 und 2017 zeigt das StripDrill-Verfahren insgesamt wirtschaftlich einen Vorteil im Vergleich zum kostenintensiveren Pflug.

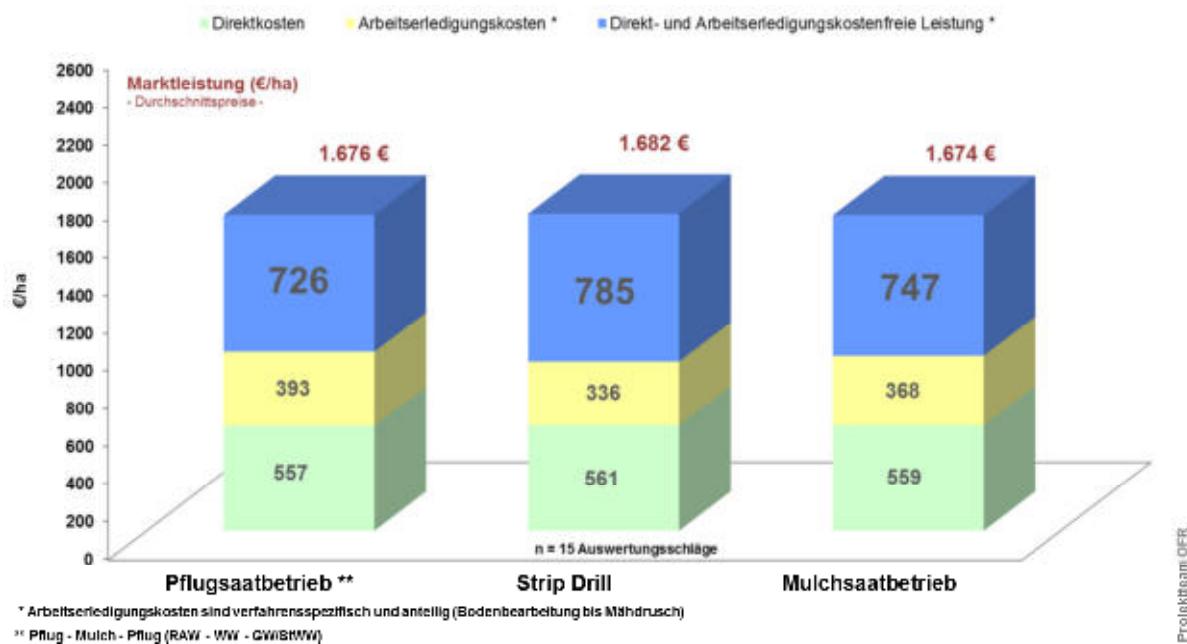


Abb. 39: Wirtschaftlichkeit der Bodenbearbeitungsverfahren in den Jahren 2014 bis 2017. Mittel der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste/Weizen.

Unter Betrachtung der einzelnen Fruchtfolgeglieder Raps, Weizen, Stoppelweizen und Gerste werden jedoch Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit sichtbar. Die Rapsergebnisse basieren auf drei Auswertungsschlägen, da die drei Rapsschläge 2016 aufgrund von Hagelschäden nicht in die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einbezogen werden konnten. Im Raps zeigt die Mulchsaat mit 1.867 €/ha die höchste Marktleistung (Tab. 22). Gefolgt von der StripDrill-Variante mit einer Differenz von 68 €/ha. Die Pflugsaat stellt aufgrund eines deutlich geringen Ertrages das Schlusslicht dar. Die Differenz in der Marktleistung zum StripDrill-Verfahren beträgt 194 €/ha. Die Direktkosten zeigen in allen drei Varianten vergleichbare Werte bei einem Kostenaufwand von rund 665 €/ha. Die Arbeitserledigungskosten fallen wie zu erwarten in der StripDrill-Variante mit 330 €/ha am geringsten aus. Das Mulch- und Pflugsaaatverfahren unterliegt durch die intensivere Bodenbearbeitung jeweils einem höheren Aufwand von 33 €/ha bzw. 71 €/ha. Schlussendlich zeigt die DAL den größten Betrag im Mulchsaatverfahren mit 841 €/ha, auf dessen ähnlichen Niveau sich auch das StripDrill-Verfahren befindet. Der Pflugsaat hingegen kann im Raps aufgrund des geringeren Ertrages im Vergleich zur Mulchsaat und der höheren Arbeitserledigungskosten ein deutlich geringerer Betrag von 226 €/ha nachgewiesen werden.

Tab. 22: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Raps von 2014–2017 (ausgenommen Ernte 2016).

Raps [€/ha] 3 Auswertungsschläge	Pflugsaat	StripDrill	Mulchsaat
Marktleistung	1.673	1.799	1.867
Direktkosten	657	670	663
Arbeitserledigungskosten	401	330	363
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	615	800	841

Im Rapsweizen werden sechs Schläge in die Auswertung mit einbezogen, wobei zur Ernte 2015 aufgrund der witterungsbedingten Fruchfolgeumstellung 2010/2011 kein Weizen nach Raps stand. In der Pflugvariante wird hier auf den Pflugeinsatz verzichtet. Rapsweizen wird in der Praxis in Mulchsaat erstellt. Das Verfahren ist etabliert und bietet hinsichtlich der Arbeitsorganisation sowie der Wirtschaftlichkeit Vorteile. Im Mittel über die Jahre stellt die Pflugsaat im Weizen nach Raps die größte Marktleistung mit 1.737 €/ha sicher (Tab. 23). Trotz identischer Bestandsführung erzielt die Mulchsaat 65€/ha weniger aufgrund des geringeren Ertrages. Der Ertragsvorteil der gemulchten Pflugsaat im Rapsweizen lässt sich jedoch nicht in jedem Jahr wiederfinden. Die StripDrill- sowie Mulchsaatvariante erzielen aufgrund geringer Ertragseinbußen im Mittel eine rund 60 €/ha geringere Marktleistung. Die Direktkosten tragen in allen Varianten den gleichen Kostenaufwand von rund 496 €/ha. Die Arbeitserledigungskosten fallen auch im Weizen in der StripDrill-Variante mit 25 €/ha niedriger aus im Vergleich zu den anderen Verfahren. Aufgrund der pfluglosen Bearbeitung im Weizen nach Raps unterliegen die Mulch- und Pflugsaat dem gleichen Arbeitsaufwand und unterscheiden sich nur im Zinsansatz des Maschinenvermögens. Schlussendlich zeigt die DAL den größten Wert im gemulchten Pflugsaatverfahren mit 873 €/ha, auf dessen Niveau sich ebenfalls das StripDrill-Verfahren befindet. Der Mulchsaat lässt sich ein geringer Unterschied von 63 €/ha im Vergleich zur Pflugsaat nachweisen, der sich aus einem niedrigeren Ertrag im Mittel ergibt.

Tab. 23: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Rapsweizen von 2014–2017 (zur Ernte 2015 kein Weizen).

Weizen nach Raps [€/ha] 6 Auswertungsschläge	Pflugsaat *	StripDrill	Mulchsaat
Marktleistung	1.737	1.685	1.672
Direktkosten	497	496	496
Arbeitserledigungskosten	367	341	366
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	873	848	810

\* Pflug – Mulch – Pflug (RAW – WW – GW/SWW)

Die Stoppelweizenergebnisse basieren auf 3 Auswertungsschlägen, wobei 2017 keine Ergebnisse aufgrund der Fruchfolgeumstellung und Anbaublockrestrukturierung nachgehend zur Aussaat 2010 und 2012 bzw. des fehlenden Fruchfolgegliedes zur Ernte 2017 vorhanden sind. Der Stoppelweizen erzielt in der Pflugsaat und StripDrill-Variante eine vergleichbare Marktleistung von rund 1.600 €/ha (Tab. 24). Eine deutlich geringere Marktleistung von 1.519 €/ha erzielt die Mulchsaat aufgrund des geringeren Ertrages. Die Direktkosten unterscheiden sich nur geringfügig und liegen im Mittel bei 594 €/ha. Die Arbeitserledigungskosten fallen auch beim Stoppelweizen aufgrund der kostenextensiven Bodenbearbeitung in der StripDrill-Variante (335 €/ha) am geringsten aus. Das Mulch- und

Pflugsaatverfahren unterliegt jeweils einem höheren Arbeitsaufwand von 41 €/ha bzw. 71 €/ha. Schlussendlich zeigt die DAL den größten Betrag im Stripdrill-Verfahren mit 678 €/ha. Der Pflugsaat lässt sich ein Unterschied von 70 €/ha nachweisen, wobei dieser allein auf dem kosten- und arbeitsintensiven Pflügen basiert. Die Mulchsaat weist einen Unterschied von rund 130 €/ha auf, der auf den deutlich geringeren Ertrag und den höheren Arbeitserledigungskosten zurückzuführen ist.

**Tab. 24: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit im Stoppelweizen von 2014–2016 (zur Ernte 2017 kein Stoppelweizen).**

Stoppelweizen [€/ha] 3 Auswertungsschläge	Pflugsaat	StripDrill	Mulchsaat
Marktleistung	1.603	1.606	1.519
Direktkosten	590	593	598
Arbeitserledigungskosten	406	335	376
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>	<b>608</b>	<b>678</b>	<b>545</b>

In der Wintergerste wurden ebenfalls nur drei Schläge in die Auswertung mit einbezogen, wobei zur Ernte 2016 aufgrund der Fruchtfolge keine Gerste stand und 2015 aufgrund eines Virusbefalls ein Gerstenschlag ausfiel. Die Wintergerste erzielt in allen drei Varianten vergleichbare Erträge und somit vergleichbare Marktleistungen von rund 1.630 €/ha (Tab. 25). Die Direktkosten unterscheiden sich nur geringfügig und liegen im Mittel bei 545 €/ha. Die Arbeitserledigungskosten fallen wie zu erwarten in der StripDrill-Variante mit 334 €/ha am geringsten aus. Das Mulch- und Pflugsaatverfahren unterliegt jeweils einem höheren Aufwand von 37 €/ha bzw. 88 €/ha. Schlussendlich zeigt die DAL den größten Betrag im StripDrill-Verfahren mit 750 €/ha. Der Pflugsaat lässt sich ein geringerer Unterschied von 87 €/ha nachweisen, wobei dieser auch in der Gerste allein auf das zusätzliche Pflügen basiert. Die Mulchsaat weist mit 24 €/ha einen etwas geringeren Unterschied zur StripDrill-Variante auf.

**Tab. 25: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit in der Gerste von 2014–2017 (zur Ernte 2016 keine Gerste).**

Gerste [€/ha] 3 Auswertungsschläge	Pflugsaat	StripDrill	Mulchsaat
Marktleistung	1.628	1.632	1.640
Direktkosten	543	548	543
Arbeitserledigungskosten	422	334	371
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>	<b>663</b>	<b>750</b>	<b>726</b>

Der virusbefallene Gerstenschlag im Jahr 2015 wird aufgrund der stark divergierenden Ergebnisse gesondert aufgeführt. Zur Ernte 2015 waren allgemein gute Wachstumsbedingungen gegeben, wodurch ein hohes Ertragsniveau in diesem Jahr herrschte. Durch die stark abweichenden Erträge im Vergleich zu dem anderen nicht befallenen Gerstenschlag in diesem Jahr zeigen die Pflug- und Mulchsaat deutliche Ertragsdepressionen. Aufgrund dessen errechnet sich eine Marktleistung von nur 1.468 €/ha in der Pflugsaat und 1.546 €/ha in der Mulchsaat (Tab. 26). Hierbei wird ebenfalls schon eine Differenzierung deutlich von 78 €/ha. Die StripDrill-Variante zeigt ebenfalls Befall, wenngleich bei Weitem nicht so ausgeprägt wie in Pflug- und Mulchsaat. Die Marktleistung fällt aus diesem Grund mit 270 €/ha im Vergleich zu den anderen beiden Bodenbearbeitungsverfahren deutlich höher aus. Die Direktkosten sind in der StripDrill- und Mulchsaat-Variante mit ca. 20 €/ha höheren Kosten verbunden aufgrund der

zusätzlichen Behandlung mit Roundup und der leicht abweichenden Stickstoffkosten. Die Arbeitserledigungskosten fallen wie in den anderen Kulturen bereits beschrieben in der StripDrill-Variante am geringsten aus. Schlussendlich zeigt die DAL aufgrund des stabil gebliebenen Ertrages den größten Betrag im StripDrill-Verfahren mit 756 €/ha. Dieser Wert ist gleichzusetzen mit der dreijährigen Auswertung der StripDrill-Variante in Tab. 25. Der Mulch- und Pflugsaat lässt sich ein Unterschied von 230 €/ha und 320 €/ha nachweisen, der vor allem den Ertragsdepressionen durch den Virusbefall verschuldet wird. Die geringeren Bodenbearbeitungskosten fallen dem StripDrill-Verfahren zusätzlich zu Gute. Konkret sind mehrere Möglichkeiten, weshalb die StripDrill Gerste weniger virusgeschädigt war, denkbar. Ob die Stickstoffdüngung unterflur bzw. bereits zur Aussaat eine bessere Entwicklung und damit eine geringere Schädigung bewirkt hat, ließ sich jedoch nicht sicher nachweisen.

**Tab. 26: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wirtschaftlichkeit in der Gerste von 2015 (Virusbefall)**

Gerste [€/ha] Virusbefall 2015	Pflugsaat	StripDrill	Mulchsaat
Marktleistung	1.468	1.738	1.546
Direktkosten	612	633	631
Arbeitserledigungskosten	420	343	389
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>	<b>436</b>	<b>756</b>	<b>526</b>

Aufgrund der divergierenden Untersuchungszeiträume der StripDrill- und Direktsaatverfahren mit jeweils entsprechenden Anpassungen der Preisnotierungen sowie der unterschiedlichen Wettereinflüsse können diese Verfahren nicht direkt miteinander verglichen werden.

- Gesamt betrachtet zeigt das StripDrill-Verfahren einen wirtschaftlichen Vorteil im Vergleich zur Pflug- und Mulchsaat und erzielt Kosteneinsparungen. Die Arbeitserledigungskosten sind aufgrund der kostenextensiven Bodenbearbeitung im StripDrill-Verfahren geringer.
- Das StripDrill-Verfahren war in keinem Fruchtfolgeglied das marktleistungsstärkste Verfahren bzw. schaffte es maximal mit dem leistungsstärksten gleichzuziehen.
- Einzelne Fruchtfolgeglieder zeigen teilweise Unterschiede in den Ergebnissen, aufgrund differierender Erträge sowie Arbeitserledigungskosten.
- Im Raps erzielt die Mulchsaat die höchste Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung, im Winterweizen die gemulchte Pflugsaat-Variante, im Stoppelweizen und in der Gerste das StripDrill-Verfahren.

#### 6.4. Teilflächenspezifische Aussaat

Durch die teilflächenspezifische Aussaat sollten die folgenden Ziele erreicht werden:

- Gleichmäßiger, an die Teilfläche angepasster Bestand
- Einsparung bzw. bessere Ausnutzung von Saatgut
- Verbesserung Arbeitsqualität
- Entlastung des Fahrers

Grundlage der teilflächenspezifischen Aussaat ist eine gleichmäßige Anzahl ährentragender Halme zu etablieren. Die Erfahrungen nicht nur aus dem östlichen Hügelland zeigen, dass sich bei konstanter Aussaatmenge Bestände sehr heterogen entwickeln können. Anteilig wird durch die manuelle Variation der Aussaatmenge per Knopfdruck durch den Fahrer versucht, ein Ausgleich zu schaffen. Wenn dies nicht möglich war, wurden Flächenteile mit schwierigen Bedingungen wie etwa Kuppen mehrfach mit der Drillmaschine schräg oder quer zur Fahrspur bearbeitet (Abb. 40).



Abb. 40: Praxisfläche im Östlichen Hügelland (nicht Helmstorf) mit unterschiedlichen Feldaufgängen

Eine automatische Saatmengenverstellung ermöglicht per Vorgabenkarte, unterschiedlichen Teilflächen Saatmengen zuzuordnen. Als Grundlage zur Abgrenzung von Teilflächen für die Aussaat dient im OFR-Projekt die im Betrieb bereits vorhandene EM38-Messung. Die daraus interpolierten Karten mussten einzeln korrigiert werden. Für jeden Schlag wurden mit den Vor-Ort-Kenntnissen des Betriebsleiters die Klassengrenzen individuell festgelegt und die Karten manuell korrigiert.

Da in der Literatur keine Empfehlungen zu Aussaatstärken auf verschiedenen Leitfähigkeiten bzw. Bodenarten zu finden waren, wurde hier das praktische Betriebsleiterwissen in die Karten übernommen. Je schwerer der Boden ist, desto schlechter sind Aufgang und Bestockung. Auf den schwersten Teilstücken galt: „Ein Saatkorn ergibt einen ährentragenden Halm“. Für eine im Versuch handhabbare Umsetzung der teilflächenspezifischen Aussaat wurden drei Stufen gewählt: leicht, mittel und schwer. Die leichten Teilstellen wurden mit der betriebsüblichen Standardaussaatmenge, die mittleren mit einem Zuschlag von 50 %, die schweren mit der doppelten Menge ausdosiert.

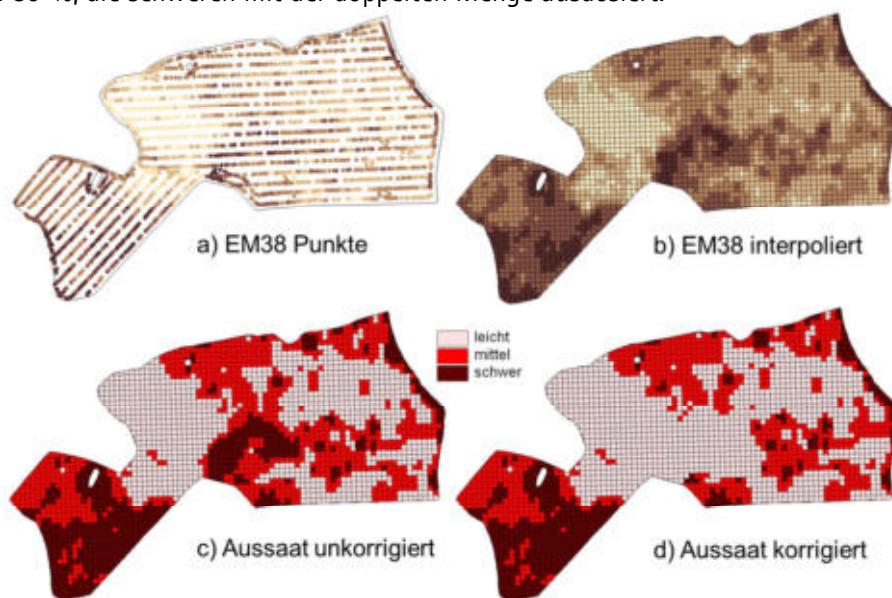


Abb. 41: Umsetzung der EM38-Messung zur Aussaatkarte

Es wurden entsprechende Karten mit relativen Werten in der Abstufung 100 %/150 % /200 % erstellt. Dazu wurden die Rohdaten der Messung eingelesen (Abb. 41a) und zu einer flächigen Karte interpoliert (Abb. 41b). Anschließend wurde den Bodenklassen eine relative Saatstärke zugeordnet (Abb. 41c) und ggf. korrigiert (Abb. 41d).

Die zur Aussaat verwendete Software erlaubt die flexible Anpassung der absoluten Menge direkt zur Aussaat nach den aktuellen Erfordernissen.

Pflanzenzählungen an verschiedenen Aussaatstärkenstellen im Schlag haben ergeben, dass auf den schweren Stellen die doppelte Aussaatmenge zur Kompensierung der Standortgegebenheiten nicht erforderlich war. Im Verlauf des Projektes sind dann die Abstufungen mehrfach angepasst worden. Zunächst auf 100 %/140 %/180 %, später auf 100 %/130 %/170 %. Für extreme Spätaaten oder Frühjahrssaussaat, bei denen die Grundsaatmenge schon sehr hoch angesetzt wurde, wurde die Menge auf den Betriebsflächen noch einmal auf die Abstufung 100 %/125 %/150 % herabgesetzt. Die vorgesehene Einführung einer vierten Aussattklasse für Getreide in die Karten für humose Senken mit üblicherweise üppigen Beständen mit 80 % Aussatstärke wurde wegen geringer Flächenanteile nicht umgesetzt. Die Bestellung auf dem Feld erfolgte mit der betriebseigenen Rapid-Drillmaschine von Väderstad zunächst mit 4 m Arbeitsbreite, seit 2011 mit 6 m. Das Terminal der 4 m-Maschine musste zur Ansteuerung durch ein von Väderstad bereitgestelltes Firmware-Update zur Ansteuerung vorbereitet werden. Das dazu notwendige Verbindungs kabel diente in der Folge auch zur Kommunikation bei der Sollmengenverstellung.

Die Ansteuerung der Maschine erfolgt serienmäßig über ein eigenes Terminal, das sowohl eine manuelle Verstellung als auch eine elektronische Ansteuerung erlaubt. Über eine serielle Schnittstelle (RS232) kommunizieren das Terminal und ein vorgeschalteter Computer, der die Karteninformationen enthält und über ein GNSS für die Orientierung auf der Fläche verfügt. Für die Dosierung hat sich bewährt, ein eher ungenaues und einfaches dafür aber stabiles GNSS-System zu verwenden. Es wurde versucht, das vom Lenksystem zur Verfügung gestellte hochgenaue RTK-GNSS-Signal zu nutzen. Es zeigte sich jedoch, dass das System zu häufig ausfiel. Während der Fahrer in solchen Ausfallzeiten von Hand weiterfuhr, blieb die Dosierung stehen.

Eine wichtige Vorgabe war zudem, dass der Fahrer während der Aussaat immer die Möglichkeit haben sollte, die Karte manuell zu übersteuern und damit eventuelle Fehler in der Karte auszugleichen oder auf besondere ggf. nur in einem Jahr auftretende Umstände reagieren zu können. Diese Abweichungen von der Vorgabe werden von der Maschine zurückgeschrieben und lassen sich als Karte darstellen. Eine mehrjährige Abweichung an gleicher Stelle kann so ggf. in die Vorgabenkarten eingepflegt werden.

Zu Beginn des Projekts funktionierte das Rückschreiben auf der Drillmaschine nicht. In der verwendeten Software Fieldrover zur Ansteuerung war die Kommunikation im Väderstad-Format fehlerhaft umgesetzt. Daher wurde die Erstellung einer eigenen Software notwendig, die die Dosieranweisungen aus dem Programm abfängt, korrigiert und an die Drillmaschine weiterleitet.

Die folgende Abb. 42 zeigt in der Mitte und am Vorgewende flächig zusammenhängende Eingriffe des Fahrers (grüne und blaue Markierungen). An den Übergängen von einer Saatstufe zur nächsten zeigt sich die Trägheit der Dosierung beim Wechsel der Sattstärke.

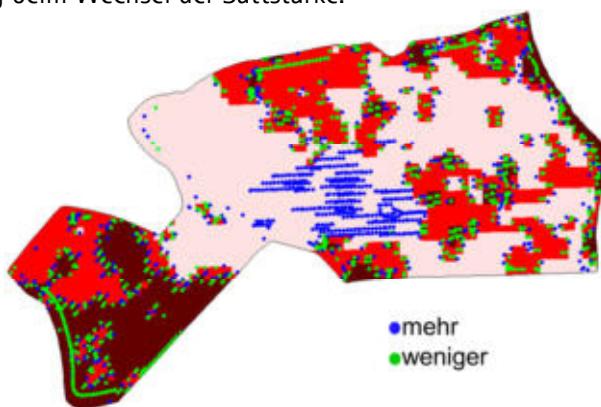


Abb. 42: Aussattkarte mit manuellem Eingriff des Fahrers

Aus der Darstellung des Rückschreibs (Abb. 43) zeigt sich an den Übergängen verschiedener Saatmengenklassen, dass die Dosierung an der Drillmaschine für die Anpassung etwa 1-2 Sekunden benötigt.

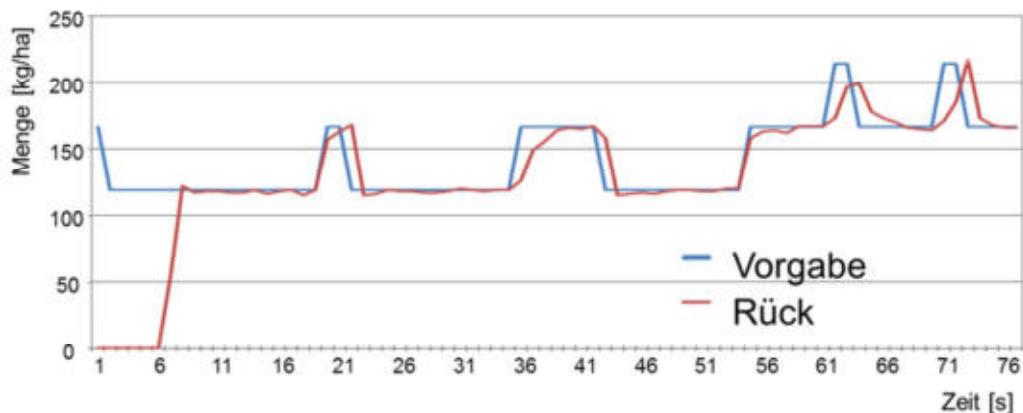


Abb. 43: Rückschrieb der Rapid A600S (6 m)

In den ursprünglichen Vorgabenkarten befanden sich zu Beginn vereinzelte Rasterzellen, die sich in ihrer Vorgabemenge von ihrer Umgebung unterscheiden. Diese einzelnen Zellen werden während der Aussaat so schnell durchfahren, dass es für die Maschine nicht möglich ist, zwischen den Wechseln die Menge sauber auszudosieren.

In der Folge wurden solche einzelnen Rasterzellen manuell aus den Karten entfernt. Die folgende Abb. 44 zeigt eine Aussaatkarte zu Beginn des Projekts und im letzten Versuchsjahr (2017) nach korrigiertem Stand.

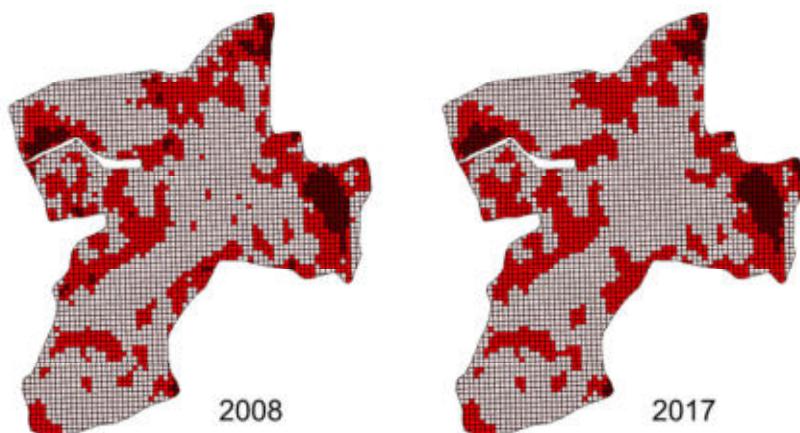


Abb. 44: Anpassung der Aussaatstärke von 2008 zu 2017

Auf Betriebsschlägen, zu denen keine EM38-Messungen vorhanden waren, wurden alternative Möglichkeiten erprobt, um zu einer Vorgabenkarte zu kommen. Auf einem dieser Schläge wurden die manuellen Eingriffe des Fahrers während der Aussaat aufgezeichnet. Diese Aufzeichnung kann in den Folgejahren wieder aufgerufen und erneut genutzt werden. Eventuell müssen während der Aufzeichnung falsch gedrillte Stellen auch hier korrigiert werden. Auf einem anderen Schlag wurden nach dem Pflügen Schlagteile, die sich optisch auffällig unterschieden, mit einem mobilen GNSS umlaufen und erfasst. Diesen Teilflächen wie etwa Sandlinsen, humose Senken oder Lehmkuhlen wurden dann verschiedene Aussaatmengen zugeordnet.

Es hat sich gleich zu Projektbeginn gezeigt, dass die zuvor auftretenden Schwachstellen auf den Kuppen eine deutlich bessere Bestandsdichte aufwiesen. Das System ist von Anfang an für den gesamten Betrieb übernommen worden und hat zu einer optisch homogeneren Bestandsetablierung geführt. Die Verstellung der Saatmenge nach Karten hat mit der Maschine von Beginn an bis auf das Rückschreiben sicher und stabil funktioniert.

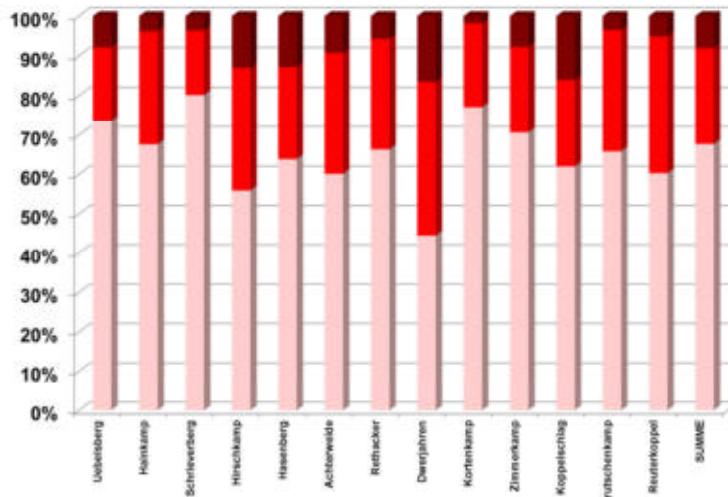


Abb. 45: Flächenanteile der Aussaatstufen

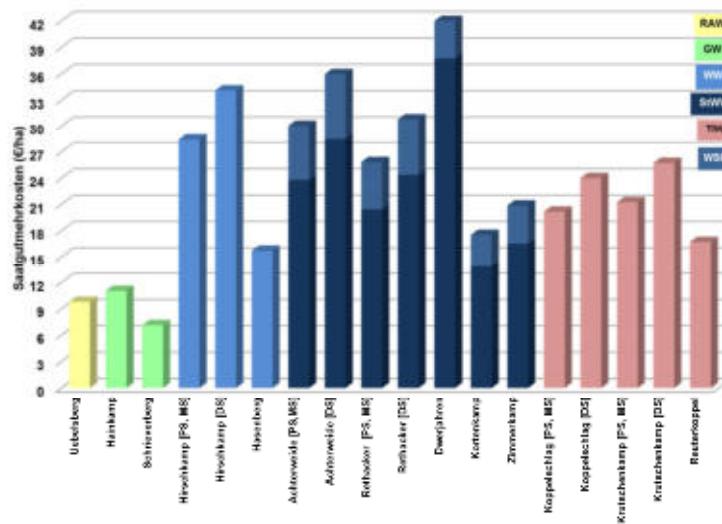


Abb. 46: Saatgutmehrkosten im Vergleich zu konstanten Aussaatmengen

Die Erhöhung der Saatmenge auf den schweren Teilflächen führt insgesamt zu einer höheren Saatmenge je Schlag. Das Beispiel aus 2012 zeigt, für jeden Schlag ergibt sich eine individuelle Verteilung der Anteile (Abb. 45). Aus diesen Anteilen errechnet sich der Mehraufwand an Saatgut und die entsprechenden Kosten im Vergleich zu konstanten Aussaatmengen (Abb. 46).

Der Aufbau eines pneumatischen Schneckenkornstreuers auf der Drillmaschine erfolgte zeitgleich mit der Umstellung des Fahrgassensystems von 24 m auf 36 m. Schneckenkorn ist mit Schleuderstreuer auf 36 m nicht streufähig. Mit dem Aufbau auf die Drillmaschine wurde die Idee umgesetzt, zeitgleich mit der Aussaat angepasst an das aktuelle Jahr den Schneckenkornstreuer gekoppelt an die Boden- bzw. Aussaatklassen automatisch ein- und auszuschalten. So konnte die erste und in einigen Jahren auch einzige Schneckenbekämpfung ohne zusätzliche Durchfahrt realisiert werden.

Unabhängige wissenschaftliche Versuche zur Aussaatabstufung nach verschiedenen Parametern mit Hinweisen zur praktischen Umsetzung gibt es bisher nicht. Nahezu alle Hersteller haben Maschinen mit der Möglichkeit zur Variation der Saatmenge im Angebot.

- Teilflächenspezifische Aussaat nach Vorgabenkarte erfolgreich etabliert.
- Teilflächenspezifische Aussaat nach dem gewählten Ansatz erhöht die Saatgutkosten.
- Die Dosierung funktioniert sicher und ausreichend schnell.
- Automatische Schneckenkorndosierung erspart eine zusätzliche Durchfahrt.

## 6.5. N-Düngungsversuch

Im Projekt wurden in den Jahren von 2008 bis 2016 die drei Stickstoffdüngungsansätze Betriebsüblich, Einmal- bzw. Zweimaldüngung und Sensordüngung erprobt. Dazu wurden die Versuchsschläge in drei Großteilstücke aufgeteilt (Abb. 47).

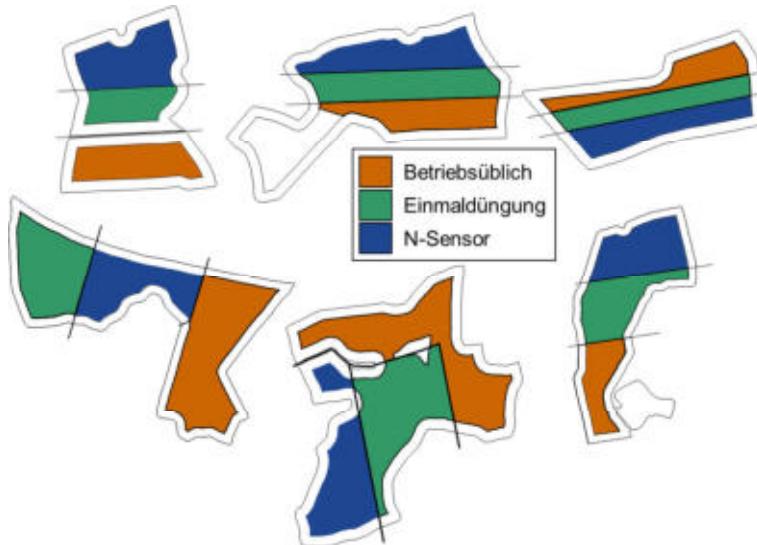


Abb. 47: Verteilung der Großteilstücke im N-Düngungsversuch

Jedes Großteilstück ist über die gesamte Projektlaufzeit mit der gleichen Variante belegt, um Langzeiteffekte mit erfassen zu können. Die Schläge rotieren innerhalb der betrieblichen Fruchtfolge.

### 6.5.1. Vorbemerkung Sensoren

Mit dem Einsatz von N-Sensoren werden die folgenden Ziele verbunden:

- Bessere Ausnutzung von Nährstoffen
- An den Pflanzenbestand angepasste Nährstoffmengen
- Entlastung des Fahrers
- Jahresaktuell angepasste Düngung
- Einsparung von Dünger (Yara),
- Homogenisierung des Bestands (Yara)
- Steigerung der Druschleistung durch Homogenisierung (Yara)
- Zusätzlich an die Teilfläche angepasste Düngung durch Map-Overlay mit EPK (Fritzmeier)
- Keine Einsparung, dafür bessere Ausnutzung von Dünger durch Umverteilung (Fritzmeier)
- Verbesserung der N-Bilanz
- Objektive Bestandsbewertung durch Sensor
- Verbesserung der Weizenqualität, Protein
- Ertragssteigerung
- Lagerreduzierung
- Dokumentation der Düngergaben
- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Ackerbau

Bei den Sensoren unterscheidet man passive und aktive Systeme. Passive Systeme sind meist preiswerter und verfügen über keine eigene Lichtquelle. Sie sind daher auf ausreichend einfallendes Umgebungslicht angewiesen und dadurch in ihrer Anwendung zeitlich begrenzt. Aktive Sensoren verfügen über eigene Lichtquellen und haben keine durch das Umgebungslicht begrenzten Einsatzzeiten.

Einsatzbeschränkungen ergeben sich für beide Systeme, wenn die optischen Eigenschaften des Bestands durch äußere Einflüsse überlagert werden. Das ist der Fall, wenn der Bestand mit Raureif oder mit feinen

Tropfen bedeckt ist. Ebenso können Pflanzenkrankheiten oder Mängelscheinungen, insbesondere bei Schwefelmangel, den Bestand optisch verändern. Auch das Ährenschieben bzw. der Blühbeginn und die Blüte beim Raps limitiert den Einsatz. Die Sensordüngung muss in diesen Zeiträumen nach Herstellerangaben ausgesetzt werden bzw. vorher abgeschlossen sein. Eine Unterscheidung von Kultur- und Unkrautpflanzen ist nicht möglich.

Eine Düngeempfehlung kann vom Sensor relativ oder absolut erfolgen. Bei der relativen Empfehlung wird dem Sensor an einem durchschnittlichen Referenzbestand kalibriert und diesem vom Anwender eine Düngermenge zugeordnet. Ausgehend davon wird der übrige Bestand mit der Referenz verglichen und entsprechend einer Regelfunktion mit angepassten Mengen gestreut. In einem natürlichen Pflanzenbestand ist es für den Nutzer schwierig, den nicht näher definierten mittleren Bestand zu finden. Er müsste seinen gesamten Bestand kleinräumig ablaufen, um den Referenzbestand bestimmen zu können.

Bei einer absoluten Empfehlung entfällt die Kalibrierung an einem Referenzbestand. Das System findet selbsttätig eine Düngeempfehlung. Dazu werden je nach System verschiedene Parameter einbezogen und vom Benutzer abgefragt, z. B. abgestorbene Blattmasse, Ertragserwartung und aktuelles EC-Stadium.

## 6.5.2. Düngerstreuer

Die Applikation von N-Dünger wurde im Projekt mit Exaktstreuern Rauch AGT vorgenommen. Bei diesem Streuertyp handelt es sich um einen Pneumatikstreuer mit einem Gestänge von anfangs 24 m und ab 2011 mit 36 m Arbeitsbreite. Überlappungsbereiche zwischen den Fahrspuren wie bei Schleuderstreuern gibt es bei diesem Streuertyp nicht.

Im Verlauf der Anwendung haben sich Probleme vor allem mit der Dosertechnik der Exaktstreuer ergeben. Zuerst ist dies an Stellen aufgefallen, an denen ein Sensor einen schnellen starken Wechsel in seiner Düngermenge vorgegeben hat. Ein solcher „Sprung“ tritt dann auf, wenn sich der Bestand z. B. an Wasserlöchern oder Sandlinsen innerhalb kurzer Zeit stark ändert. Der Sensor erkennt diese schwache Entwicklung im Wasserloch oder auf der Sandlinse und setzt die N-Empfehlung sehr stark herunter. In der Praxis zeigte sich, dass der Streuer durch die Sandlinse hindurch streute und erst dahinter die heruntergesetzte Menge ausdosieren konnte.

Die am Streuer zur Verstellung der Düngemenge verwendete Technik (hydraulische Mengenverstellung zur Drehzahländerung an den Dosierwalzen) ist für derart kleinräumige Änderungen zu träge. Der Sensor gibt seine Empfehlung einmal pro Sekunde an den Streuer. Die Dosierung kann den vorgegebenen Wert innerhalb einer Sekunde unter Umständen nicht vollständig ausregeln, bevor schon die nächste Dosieranweisung vom Sensor ankommt. Unter den Gegebenheiten in Helmstorf mit schnell wechselnden Bedingungen wird die Teilfläche daher nicht immer mit der angestrebten Dosiermenge getroffen. Auch aus dem Datenruckschrieb vom Streuer lassen sich solche Verzögerungen ableiten (Abb. 48).

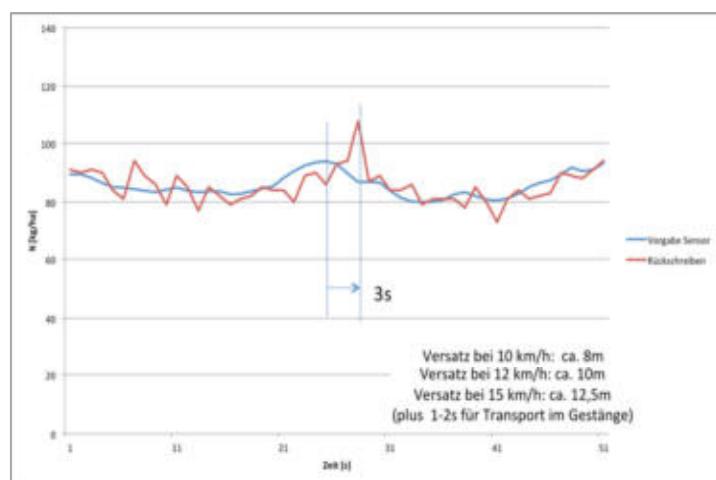


Abb. 48: Verzögerungen an der Dosierung aus dem Datenruckschrieb

Je nach Fahrgeschwindigkeit beim Düngen bedeutet die Verzögerung einen Versatz zwischen Dosierbefehl und „Landepunkt“ des Düngers von mehr als 10 Meter. Diese Verzögerungen werden durch Rückwiegen nach einer Düngungsmaßnahme nicht erkannt, weil sich die Abweichungen in der Summe über die Fläche aufheben, d. h. die Abweichungen zwischen Vorgabe und Rückschrieb sind sowohl positiv oder als auch negativ.

Um eine Vorstellung von diesen Verzögerungszeiten und deren Auswirkungen zu bekommen, wurden zusätzlich eigene Messungen angestellt. Dazu wurde am AGT24m im Stand gemessen. Bei simulierter Geschwindigkeit wurde ein Mengensprung in der Dosierung vorgegeben und die auf dem Terminal angezeigte Reaktion mit einer Stoppuhr gemessen. Testweise wurde vom Hersteller ein anderer Motor bereitgestellt, der schneller Änderungen an der Dosierung vornehmen konnte. Die elektronische Regelung war für den Motor aber zu langsam, das System benötigte insgesamt mehr Zeit (Abb. 49).

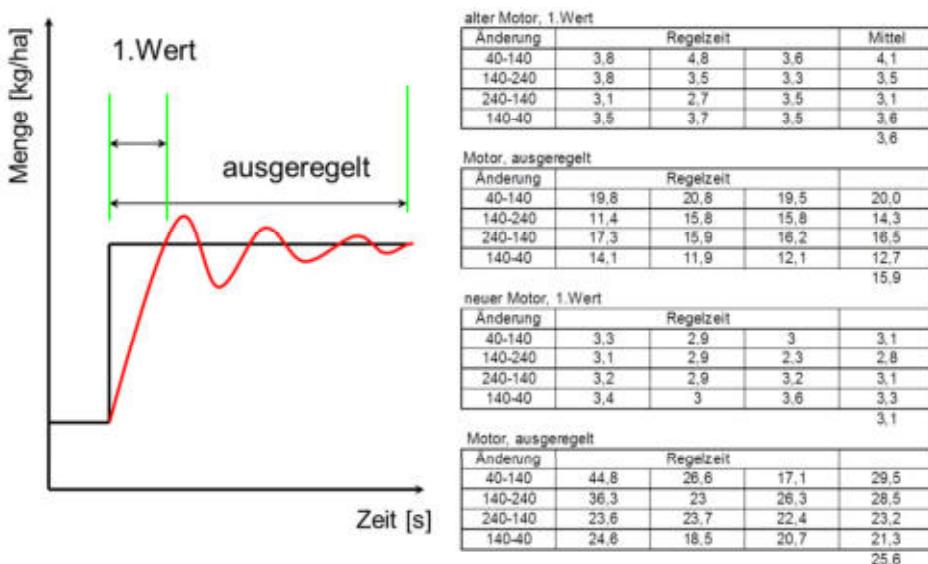


Abb. 49: Schematischer Messverlauf einer Sprungantwort und Ergebnisse der manuellen Messung beim AGT24m

Beim AGT36m ließ sich die aktuelle Dosierung über eine selbsterstellte Software abfragen. Nach einem Sprung wurde alle 0,2 s die aktuelle Dosierung abgefragt und aufgezeichnet (Abb. 50). Auch hier traten Verzögerungen auf.

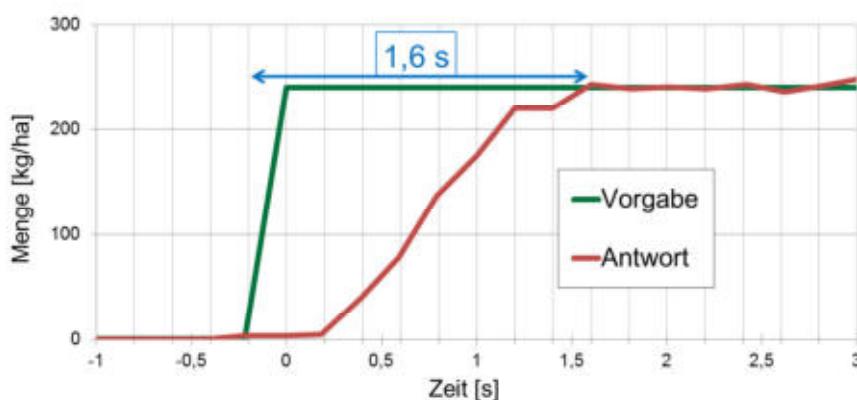


Abb. 50: Gemessene Sprungantwort beim AGT36m

Außerdem wird die Dosierung an den inneren Teilbreiten zusätzlich verzögert. So wird der zeitliche Versatz ausgeglichen, der sich aus den unterschiedlich langen Transportwegen des Düngers im Gestänge zwischen inneren und äußeren Teilbreiten ergibt. Diese Zeiten sind im Terminal einstellbar (Abb. 51). Sie betragen standardmäßig bis zu 1,6 s für die innersten Teilbreiten.

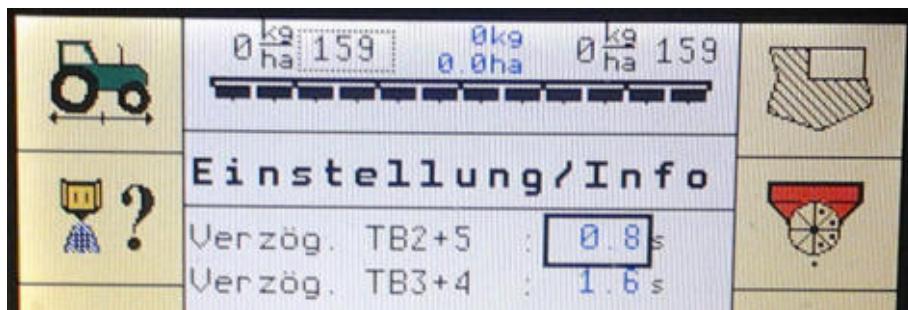


Abb. 51: Einstellung der Verzögerung beim AGT36m (Foto: Lubkowitz)

Nach einem Defekt und Austausch von Drehzahlgebern an einzelnen Teilbreiten hat sich gezeigt, dass jede der 6 Teilbreiten unterschiedlich ausdosierte. Seit dem gehört die Überprüfung und der Abgleich der Dosierorgane der einzelnen Teilbreiten zur regelmäßigen Wartung.  
Die Erfahrungen mit den Pneumatikstreuern legten nahe, dass auch bei Schleuderstreuern Verzögerungen auftreten können (vgl. auch Kapitel 7.6, S. 138).

- Dosierung zu träge
- guter Pflege und regelmäßiger Wartung des Streuers notwendig
- keine Probleme mit der Querverteilung und Überlappung

### 6.5.3. Bestimmung der Herbststickstoffaufnahme bei Raps

Ab Herbst 2012 wurde versucht, den Raps zusätzlich zu Vegetationsende zu bonitieren. Ziel war es, eine objektive, einfache und schnelle Bestimmung aufgenommener N-Mengen im Rapsbestand zur Planung der Stickstoffdüngung im Frühjahr zu erhalten. Die Bonitur sollte eine entsprechende Korrektur des N-Sollwertes beim Raps ermöglichen. Dazu wurden drei Methoden parallel erprobt:

- Oberirdisches Abschneiden von Pflanzen auf einem Quadratmeter und dem anschließenden Verwiegen sowie Berechnung der Sollwertkorrekturmenge (Frischmassemethode). Es wurden mehrere Wiederholungen je Aussaatklasse bzw. innerhalb eines Variantengroßteilstücks in den Bodenbearbeitungs- und Düngungsversuchen erfasst.
- Nutzung der Yara-Software ImageIT in Verbindung mit dem Smartphone für die Bestimmung der Herbststickstoffaufnahme. Dabei werden vom zu messenden Bestand mehrere Fotos gemacht und über das Internet versendet. Die Software ermittelt so den oberirdisch aufgenommenen Stickstoff in kg/ha, die Frischmasse in t/ha und leitet eine Düngempfehlung ab. Die Wiederholungen wurden analog zur Frischmassemethode angelegt.
- Mit dem Sensor wird in einer gesonderten Überfahrt oder bei der abschließenden Pflanzenschutzbehandlung im Herbst der Bestand komplett abgescannt.

Es hat sich bestätigt, dass anhaftende Feuchtigkeit und Raureif an den Blättern die Wiegung von abgeschnittenen Pflanzen für die Frischmassemethode beeinflussen. Die Software Yara ImageIT konnte Fotos bei ungünstigen Lichtverhältnissen nicht nutzen, üppige Bestände mit kompletter Bodendeckung werden nicht richtig erkannt. Limitationen gab es auch bei den Sensorsystemen. Raureif und von Tau und Regen mit kleinen Wassertropfen benetzte Blätter verfälschen die Reflexionsmessungen. Damit sind Messtermine zu Vegetationsende kaum zu finden. Nach ersten bzw. den beschriebenen Erfahrungen wurde versucht, die Bonituren auf Mitte Oktober vorzuziehen. Dadurch sollten für eine saubere Erfassung der Sollwertkorrektur sichergestellt werden, dass die Bestände trocken und frei von Frosteinfluss waren. Das galt für alle Verfahren. Beim Arbeitsgang Sensorscan war es damit verbunden, dass er nicht mehr kostenneutral mit der Abschlussbehandlung erfolgen konnte, sondern als Extradurchfahrt mit entsprechenden Arbeitserledigungskosten in die Wirtschaftlichkeitsberechnung einging. Hinsichtlich der Erfassung der maximalen N-Aufnahme im Herbst ist das jedoch ein Kompromiss. In einzelnen Jahren war

die Herbstwitterung so schlecht, dass trotz der Zielsetzung die Messung real erst einen Monat später durchgeführt werden konnte.

Der Yara N-Sensor liefert Angaben zum von der Pflanze aufgenommenen Stickstoff in kg N/ha, die der Landwirt direkt verwenden kann. Der Isaria liefert nur einen dimensionslosen Reflexionsindex IRML, der keine direkte Umrechnung auf den aufgenommenen Stickstoff im Bestand ermöglicht.

Alle drei parallelen Bonituransätze liefern unterschiedliche Daten an der gleichen Stelle.

## 6.5.4. Sensoren für die Stickstoffdüngung

### 6.5.4.1. Betriebsgrößenabhängige Sensorkosten

Entsprechend der Betriebsgröße variieren die Sensorkosten pro ha Grundfläche (GF). In Tab. 27 werden zunächst die jährlich anfallenden Gesamtkosten für ein Sensorsystem aufgeführt, die sich aus Anschaffungs- und Managementkosten bei einer Abschreibungsdauer von 5 Jahren sowie einem Zinsansatz von 5 % zusammensetzen. Die Berechnungen basieren auf einer durchschnittlichen Beispielkalkulation, die je nach Sensorsystem etwas abweichen kann. Letztendlich befinden sich in der Aufstellung der unterschiedlichen Grundflächen von 100 ha bis 1.000 ha die jährlichen Sensorkosten in einem Bereich von 10,7 €/ha GF bis 107,00 €/ha GF. Grundsätzlich sollen Sensorsysteme Körnerträge steigern und Stickstoff einsparen bzw. umverteilen. Damit ein Sensorsystem bei einer Betriebsgröße von 100 ha kostendeckend arbeitet, müssten 134 – 195 kg N/ha GF eingespart werden. Im Gegensatz dazu reichen bei einem 1.000 ha-Betrieb Einsparungen von 13 – 19 kg N/ha GF aus. Innerhalb der Betriebsgröße ergeben sich die Einsparungsunterschiede durch den Einsatz unterschiedlicher Stickstoffdüngertypen und damit verbundenen Stickstoffpreisunterschieden. Voraussetzung für den wirtschaftlichen Sensoreinsatz ist jedoch, dass die N-Einsparung ohne negative Folgen für die Qualitäten bzw. die Qualitätspreise bleibt. Ebenso deutlich zeigen sich die Differenzen in der notwendigen Körnertragssteigerung zum Ausgleich der Sensorkosten. Das Sensorsystem müsste auf einem 100 ha-Betrieb im Raps eine Ertragssteigerung von 2,8 dt/ha GF leisten. Im 1.000 ha-Betrieb benötigt das System hingegen eine Ertragssteigerung von nur 0,3 dt/ha GF, um kostendeckend zu arbeiten. Im Weizen ist aufgrund der niedrigeren Erzeugerpreise die Ertragsdifferenzierung zwischen den Betriebsgrößen stärker. Der 100 ha-Betrieb ist auf eine Ertragssteigerung von 5,6 dt/ha GF angewiesen, um kostendeckend zu arbeiten, im Gegensatz zum 1.000 ha-Betrieb mit nur 0,6 dt/ha GF. Die Betriebsgröße hat aus wirtschaftlicher Sicht einen erheblichen Einfluss auf die notwendige Stickstoffeinsparung bzw. den notwendigen Mehrertrag zum Ausgleich der Sensorkosten. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu den im OFR-Projekt erprobten Stickstoff-Sensoren beziehen sich auf einen 1.000 ha Betrieb.

Tab. 27: Sensorkosten bei unterschiedlichen Betriebsgrößen

Jährliche Kosten		10.700 €				
jährliche Grundfläche	ha GF	1.000	500	250	150	100
jährliche Kosten pro ha	€/ha GF	10,7	21,4	42,8	71,3	107,0
<u>Break-even bei N-Einsparung pro ha Grundfläche</u>						
0,8 €/kg N	kg N/ha GF	13	27	54	89	134
0,55 €/kg N	kg N/ha GF	19	39	78	130	195
<u>Break-even bei Körnertragssteigerung pro ha Grundfläche *</u>						
RAW	dt/ha GF	0,3	0,6	1,1	1,9	2,8
GW	dt/ha GF	0,7	1,4	2,8	4,6	7,0
WW	dt/ha GF	0,6	1,2	2,4	4,0	5,9

\* Bauernblattnotierungen: RAW [40 % Öl] 38,27 €/dt - GW 15,37 €/dt - WW [12 % Protein] 17,99 €/dt

#### 6.5.4.2. N-Bilanzverbesserung

Um durch Stickstoffumverteilung mittels neuer Verfahren und Verfahrenstechnik (Online-Verfahren, Map-Overlay-Verfahren, Mapping-Ansatz) eine N-Bilanzverbesserung zu erreichen, ist eine höhere Nährstoffabfuhr beispielsweise durch entsprechende Mehrerträge erforderlich.

Laut DüngeVO werden über das Korn beim Raps [91 % TS] 3,35 kg N/dt, beim Weizen [86 % TS, 12 % Rohprotein] 1,81 kg N/dt und bei der Wintergerste [86 % TS, 12 % Rohprotein] 1,65 kg N/dt abgefahren. Eine N-Bilanzverbesserung um 30 kg N/ha braucht daher bei identischer N-Gesamtmenge eine Stickstoffumverteilung mittels Sensor und/oder Karte im Feld, die folgende Mehrerträge generiert:

- Winterraps: + 9 dt/ha
- Winterweizen [B]: + 16 dt/ha
- Wintergerste: + 18 dt/ha

Mit der Ertragssteigerung muss verbunden sein, dass sich die Qualität nicht verschlechtert. Eine Reduktion des Proteingehaltes z. B. beim Weizen führt zu einer niedrigeren N-Abfuhr mit dem Erntegut. Der N-Saldo fällt dann höher als geplant aus bzw. wird es nicht entsprechend reduziert.

#### 6.5.4.3. Yara-N-Sensor (Online)

##### 6.5.4.3.1. Technische Realisierung

Der Yara-Sensor wurde von 2008 bis 2012 eingesetzt und besteht aus folgenden Komponenten:

- Sensor ALS
- Kabelbaum
- Terminal (Windows) mit PF-Box Software
- Internetportal
- Desktopsoftware
- N-Tester



Abb. 52: Yara N-Sensor auf dem Schlepperdach (Foto: Obenauf)

Beim Yara-N-Sensor handelt es sich um ein aktives System (Abb. 52). Der Sensor wird auf dem Schlepperdach montiert und „sieht“ schräg in den Bestand. Es wird eine Fläche von etwa 3 m<sup>2</sup> pro Seite mit einer Messung erfasst. Aus dem Signal von beiden Seiten wird eine Düngeempfehlung berechnet. Eine Ansteuerung einzelner Teilbreiten oder halben Streuerbreiten ist im Iso-Bus nicht vorgesehen. Durch die Vorfahrt ergibt sich ein Messstreifen, der bei 24 m Fahrgassenabstand etwa 33 %, bei 36 m Fahrgassenabstand etwa 25 % des Bestands erfasst (Abb. 53).

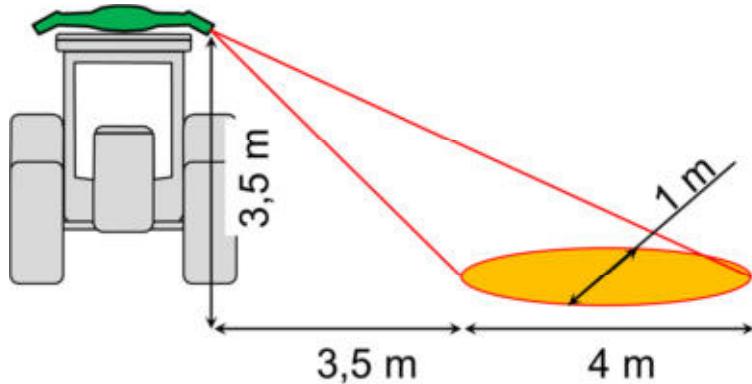


Abb. 53: Geometrie und Messfläche des Yara-N-Sensors

Der Sensor wird mit einer vom Hersteller mitgelieferten Halterung am Schlepperdach befestigt. In den Sensor integriert ist ein eigenes GNSS mit Egnos-Korrektur. Der Datentransfer findet kabelgebunden statt. Für den Betrieb des Sensors werden drei serielle Schnittstellen (RS232) am Sensorterminal und ein Eurostecker zur Stromversorgung am Schlepper benötigt. Aktuelle mobile Computer haben häufig keine serielle Schnittstelle mehr. Das mit dem Sensor gelieferte Terminal auf Windows-Basis ist ein Pen-PC von Itronix, der mittels PCMCIA- oder USB-Erweiterung um die erforderlichen drei Schnittstellen aufgerüstet werden muss.

Der vom N-Sensor gelieferte Messwert ist ein dimensionsloser Biomasseindex. Alle Daten werden in einer LOG-Datei gespeichert, die nicht lesbar ist. Durch ein zusätzliches Konverter-Programm kann der für den Nutzer besser verständliche SN-Wert direkt ausgelesen werden. Dieser Wert soll der aufgenommenen Stickstoff-Menge des Bestands entsprechen. Alternativ können die Rohdaten an ein Datenportal des Herstellers versendet und dort direkt in Karten umgewandelt werden.

Das Sensorsystem bot für die N-Düngung im Raps ein absolutes Modul. Für alle anderen Fruchtarten war ein relativer Modus vorhanden. Der Sensor ist im Projekt nicht für andere Anwendungen wie Wachstumsregler- oder Fungizidgaben eingesetzt worden.

Die Software erlaubt grundsätzlich auch Map-Overlay durch Einbindung von Offline-Karten, die Nutzung wird aber vom Hersteller nicht empfohlen.

#### Yara-N-Tester

Zum N-Sensor-System gehört auch das N-Monitoring mit dem Yara-N-Tester, um im Getreide den richtigen Zeitpunkt für eine Düngergabe und den N-Bedarf zu bestimmen. Dazu wurden auf den Feldern in allen Varianten des Projekts Referenzpunkte festgelegt, die alle 3 bis 5 Tage gemessen wurden. An jedem Referenzpunkt wurde an den Blättern von 30 verschiedenen Pflanzen gemessen und nach Sortenkorrektur ein Düngungsbedarf ausgewiesen (Abb. 54). Um einen möglichen Einfluss durch verschiedene Nutzer auszuschließen, wurde die Messung wenn möglich nur von einer Person durchgeführt.



Abb. 54: Verwendung des Yara N-Testers:

(links: Messen, Mitte: Sortenkorrektur; rechts: Empfehlung ablesen) (Fotos: Lubkowitz)

Für die Sortenkorrektur im Getreide gab es in jedem Jahr neue Daten auf Korrekturkarten oder auf der Herstellerseite im Internet, die nur für das jeweils aktuelle Jahr galten. Über die Versuchsjahre hinweg änderten sich die Korrekturwerte nur geringfügig. Auffällig waren deutliche geänderte Korrekturwerte und damit verbunden geänderte N-Empfehlungen im Erntejahr 2017. Zusätzlich gab es für 2017 uneinheitliche Korrekturwerte auf den Karten und den entsprechenden Tabellen im Internet. Für Raps ist mit dem N-Tester keine Messung möglich. Die Blätter sind für das Messverfahren zu dick.

### 6.5.4.3.2. Erfahrungen im praktischen Einsatz

#### Technik

Die Verwendung serieller Schnittstellen birgt häufig das Problem, dass die Schnittstellenummern bei jedem Einschalten des Computers jedes Mal neu konfiguriert (nummeriert) und in der Folge vom Sensor-Programm nicht mehr erkannt oder falsch zugeordnet werden. Wird der Sensor zu früh eingeschaltet, wird das angeschlossene GNSS-System als externe Maus erkannt und der Cursor springt auf dem Bildschirm unkontrollierbar umher und startet Programme oder verstellt Einstellungen. Ein weitreichender Eingriff in die Systemeinstellungen von Windows unterdrückt das teilweise. Bewährt hat sich, das Terminal zuerst einzuschalten und das komplette Hochfahren abzuwarten, bevor der Sensor eingeschaltet wird.

Die mit dem Sensor mitgelieferte Schnittstellenlösung auf USB-Basis mit vier Anschläßen an einem USB-Port verstellte sich bei jedem Einschalten und wurde nicht verwendet. Stattdessen wurden zwei USB-zu-RS232-Adapter verwendet und eine PCMCIA-Schnittstellenkarte. Wenn die Stecker nicht vertauscht wurden, war diese Lösung stabil. Die USB-zu RS232-Adapter stören aber den Betriebsfunk.

Das Sensorprogramm kann seine Empfehlungen in verschiedenen Formaten für verschiedene Streuer ausgeben. Für den Betrieb mit den AGT-Streuern ist das LH-Format einzustellen. Dieses Format ist binär und damit nicht ohne weiteres lesbar. Das Terminal vom AGT24m konnte RS232-Signale direkt verarbeiten, aber nicht zurückschreiben. Abhilfe sollte die Anschaffung eines Feldcomputers LH5000 schaffen. Dieser wurde mit einem speziellen Kabelsatz an den AGT24m angepasst und konnte sowohl die Vorgabe des Sensors umsetzen, als auch den Rückschrieb aufzeichnen. Die rückgeschriebenen Werte scheinen aber eher die Steueranweisungen für ein Ventil an der Dosierung zu sein und erlaubten keine Rückschlüsse über tatsächlich ausdosierte Mengen.

Der neue AGT36m wird über ein Terminal der Firma Müller (Quantron L) gesteuert. Die am Terminal vorhandene serielle Schnittstelle wurde von Firma Müller seit der Einführung von Iso-Bus nicht mehr genutzt. Eine direkte Verbindung zwischen Sensor und Terminal zur Übergabe der Düngempfehlung war somit nicht möglich. Es wurde eine zusätzliche Schaltbox benötigt (SCU-L von Hannenhof-Elektronik), die in das Iso-Bus-Kabel zwischen Terminal und Sensor eingebaut wurde und die Dosierungsanweisungen vom Sensor in das System sendet. Über diese Box werden auch die Daten vom Streuer zurückgelesen. Der Eingriff in das System erlaubt im Betrieb mit dem Sensor die Verstellung der Menge immer nur für alle Teilbreiten des Streuers. Im manuellen Betrieb hat der Fahrer zusätzlich die Möglichkeit, Teilbreiten des Streuers mit unterschiedlichen Mengen anzusteuern. So kann der Fahrer an Wasserlöcher o.ä. einzelne Teilbreiten reduzieren. Beim Einsatz des Sensors werden diese manuellen Eingriffe mit jeder Mengenanweisung überschrieben. Das Terminal steuert auch die Teilbreitenschaltung am Vorgewende und in Keilen, schreibt aber nur die bearbeitete Fläche zurück, keine Düngermengen.

Der Sensor übergibt seine Empfehlung einmal pro Sekunde. Das Signal kann für die Nutzung mit Schleuderstreuer in der Software zeitlich verzögert, die den Dünger entgegen der Fahrtrichtung nach hinten werfen. Für die Nutzung mit Pneumatikstreuer ist die Verzögerung auf Null zu setzen.

Die Sensorsoftware glättet die Empfehlung über ein laufendes Mittel von drei Sekunden. Dieses Mittel wurde ebenfalls auf Null gesetzt, um eine schnelle Anpassung an kleine Teilflächen mit unterschiedlichem N-Bedarf zu ermöglichen. Empfohlen wurde zunächst, die bisher gefahrene Geschwindigkeit von 12-15 km/h beizubehalten. In der Sensorsoftware kann die empfohlene N-Menge nach oben und unten begrenzt werden. Der Hersteller empfiehlt, keine Grenzen zu setzen und den Sensor voll durchregeln zu lassen.

Der Sensor muss jährlich kostenpflichtig gewartet werden. Ein Techniker überprüft und kalibriert dabei die Sensorköpfe mit speziellen optischen Filtern, tauscht ein Trockenmittel in den Sensorköpfen aus und aktualisiert die Software auf dem Terminal.

- Aktiver Sensor mit eigener Lichtquelle.
- Messfläche etwa 3 m<sup>2</sup> pro Messkopf.
- Computerkenntnisse für die Nutzung des Sensors notwendig.

## Pflanzenbau

Ziel war es, die Vorgaben des Sensoranbieters zur Optimierung des Sensorsystemnutzens umzusetzen. Zum Sensor-Konzept gehörte im Winterraps die zweimalige variable Stickstoffdüngung. Zu beiden Terminen sollte nach Hersteller- und Vertreiberangaben im Online-Verfahren auf Basis der aktuellen Bestandsentwicklung sowie mit der absoluten Kalibrierung gedüngt werden. Für die agronomische Kalibrierung ist die Stickstoffgaben-Nummer, das Entwicklungsstadium, die Ertragserwartung, der Anteil abgestorbener Biomasse bzw. zur Stickstoff-Nachlieferung des Rapsbestands erforderlich. Über diese Faktoren und die gescannte N-Aufnahme rechnet das System die zu düngende N-Menge zum Termin aus und gibt sie einmal pro Sekunde als Sollwert an den Düngerstreuer weiter. Optional war die Nutzung einer relativen Kalibrierung möglich. Dazu ist ein durchschnittlich entwickelter Rapsbestandsabschnitt zu scannen und dem gemittelten Scan-Wert ist seitens des Praktikers eine dazugehörige mittlere N-Menge zuzuordnen.

Das Sensor-Konzept im Wintergetreide beinhaltet eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung ab der 2. Gabe bzw. zu allen Terminen im reinen Online-Verfahren. Mittels N-Tester war die Nährstoffversorgung ab EC 30 zum Schossen und Ährenschieben (2. und 3. N-Gabe, BBCH 30 bis BBCH 51) zu bestimmen und über Sortenkorrekturwerttabellen der Stickstoffdüngungsbedarf zu ermitteln. Wie vom Sensorvertreiber empfohlen, wurden 2 Mal pro Woche die Wintergetreidebestände mit dem N-Tester beprobt und das Ergebnis in N-Monitoring-Tabellen festgehalten. Zum anstehenden Düngetermin wurde der Sensor auf einer Referenzstrecke bzw. an einem Durchschnittsbestand kalibriert. Dem Durchschnittsbestand wurde manuell im System eine entsprechende N-Düngemenge zugeordnet.

Für eine optimale N-Verteilung und den maximalen Systemnutzen wurde dem Praxisbetrieb empfohlen, den Düngerstreuer komplett durchregeln zu lassen und auf eine N-Mengenbegrenzung nach unten und nach oben zu verzichten. Das System ermöglicht so bspw. im Raps, auf Bestandsunterschiede mit Stickstoffmengen zwischen 0 und 120 bzw. 150 kg N/ha zu reagieren. Seitens des Sensorvertreibers wurde ein funktionierendes Zusammenarbeiten des Sensors mit dem verwendeten Stickstoffstreuer bestätigt.

In den Jahren 2008 bis 2010 wurde der Exaktstreuer Rauch AGT mit 24 m Arbeitsbreite eingesetzt. Bei der Stickstoffausbringung in der Onlineanwendung zeigten sich in Fahrtrichtung deutliche Streuversätze in der Fläche. Der vom Sensor ermittelte Stickstoffbedarf für die spezifische Teilfläche wurde vom Dünger nicht getroffen. Die vom System berechnete Düngermenge fiel verspätet, d. h. der Dünger wurde nicht ortsgenaug ausdosiert. Nach diesen Erfahrungen wurde der Regelbereich für die technische Umsetzbarkeit auf maximal 40 kg N/ha begrenzt. Die ortsgenaue Ausdosierung ist von der Regelgeschwindigkeit des Streuwers sowie der Fahrgeschwindigkeit des Schleppers abhängig. Vom Sensorhersteller wurde zur Vermeidung solcher Streuversätze zu einer auf 6 bis 8 km/h reduzierte Fahrgeschwindigkeit geraten. Das entspricht einer Halbierung der betrieblichen Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung, was einen erheblichen Einfluss auf die Arbeitserledigung im Betrieb hat. Die Möglichkeit eines wirklichen Rückschreibens vom AGT24m fehlte, weshalb eine Kontrolle der ausgebrachten Stickstoffmenge für die Teilfläche nicht machbar war. Ob und wo die aufwendig ermittelte N-Menge fällt, sollte ursprünglich durch einen Vergleich von Soll- und Ist-Karten erfolgen.

Ab 2011 kam ein Rauch AGT mit 36 m Arbeitsbreite zum Einsatz. Streuversätze ließen sich auch hier beobachten. Dieser Exaktstreuer kann jedoch gestreute N-Mengen zurückschreiben. Dadurch können Karten erstellt werden, die den Ausdosierungspunkt der Stickstoffmengen näher beschreiben.

Die Mehrzahl der Versuchsjahre war durch trockene Phasen im Frühjahr und Vorsommer geprägt. Zu den düngungsrelevanten Entwicklungsstadien von Winterweizen und Wintergerste (EC 30/32 und EC 37/51)

zeigte der N-Tester einen Düngebedarf an, der mittels Sensor ausgebrachte Stickstoff war aufgrund ausbleibender bzw. begrenzter Niederschläge jedoch oft nicht ausreichend ertragswirksam (Abb. 55).

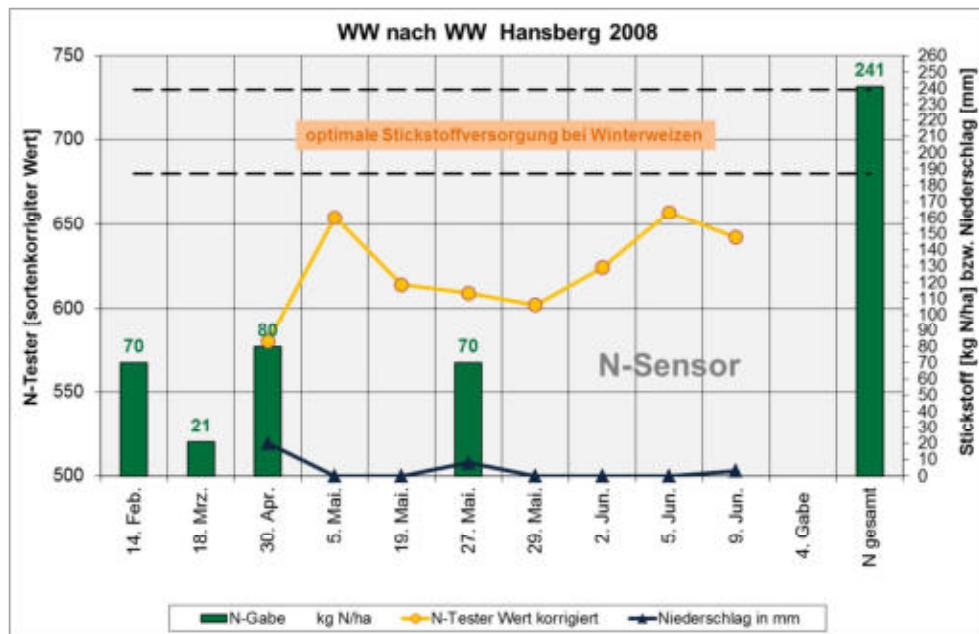


Abb. 55: N-Monitoring zur Sensordüngung, Hansberg 2008, WW nach WW

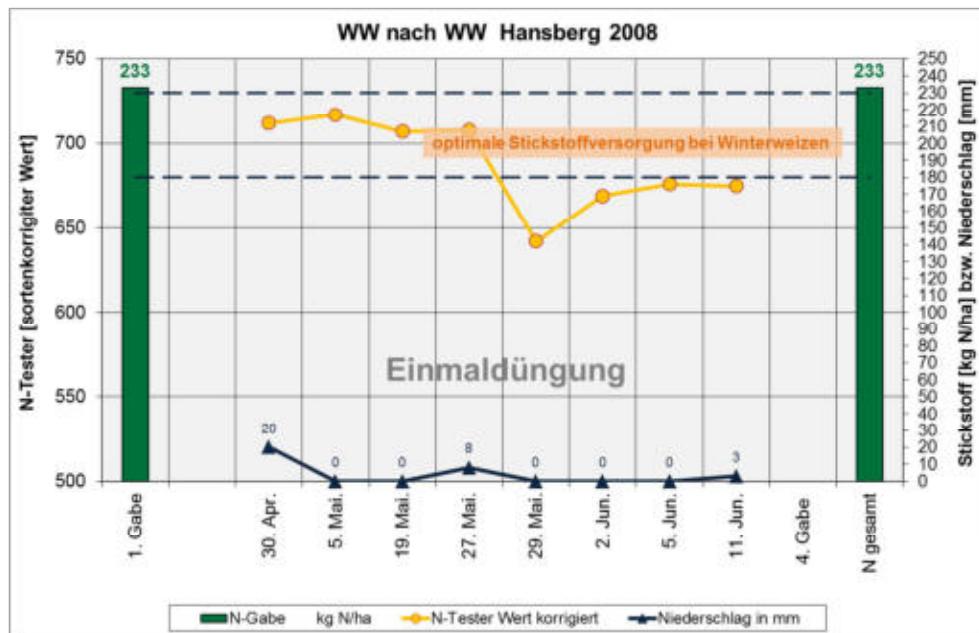


Abb. 56: N-Monitoring zur Einmaldüngung, Hansberg 2008, WW nach WW

In der Einmaldüngung von Wintergetreide zu Vegetationsbeginn zeigte sich durch die N-Testermessungen eine vergleichsweise frühe bzw. lang anhaltende günstige Stickstoffversorgung. Dem pflanzenbaulichen Verständnis nach sind beides wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Stickstoffdüngungsstrategie (Abb. 56). Die Auswirkungen der erprobten Stickstoffdüngungsverfahren für Körnertrag, Rohprotein und N-Bilanz sind in Tab. 28 aufgeführt.

Tab. 28: Ergebnisse der N-Düngung auf Hansberg 2008, WW nach WW

Hansberg 2008		Verfahren *	Ertrag dt/ha	Rohprotein % i. d. TS **	N-Düngung kg N/ha	N-Bilanz kg N/ha
WW-Vf	WW	BÜ	85,9	11,2	251	106
		SE	85,7	11,6	261	111
		ED	96,9	11,0	253	92

\* BÜ = betriebsüblich, SE = N-Sensor, ED = Einmaldüngung, \*\* gemessen, ICC-Standard 105/1 (mod.)

Auf anderen Schlägen, beispielsweise in der Wintergerste auf dem Hohenkamp 2010 wurde mit dem N-Tester aufgrund guter Stickstoffversorgung kein weiterer Bedarf zu N3 ermittelt. Dessen Umsetzung ging mit guter N-Bilanz allerdings aber auch mit deutlichem Minderertrag im Vergleich zur Einmaldüngung bzw. verglichen mit der betriebsüblichen N-Düngung einher (Abb. 57, Abb. 58, Tab. 29).

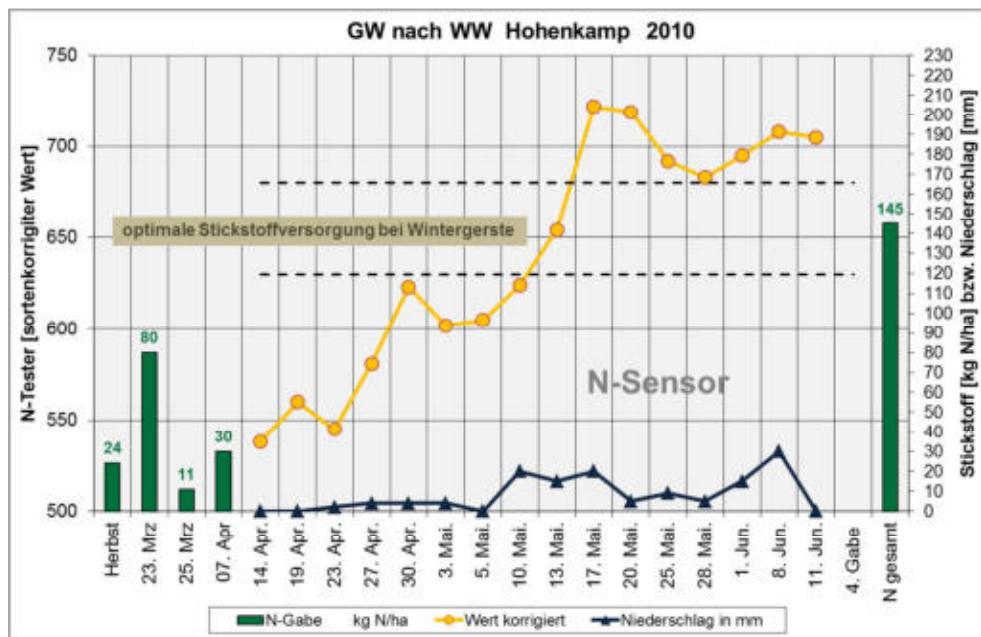


Abb. 57: N-Monitoring zur Sensordüngung Hohenkamp 2010, GW nach WW.

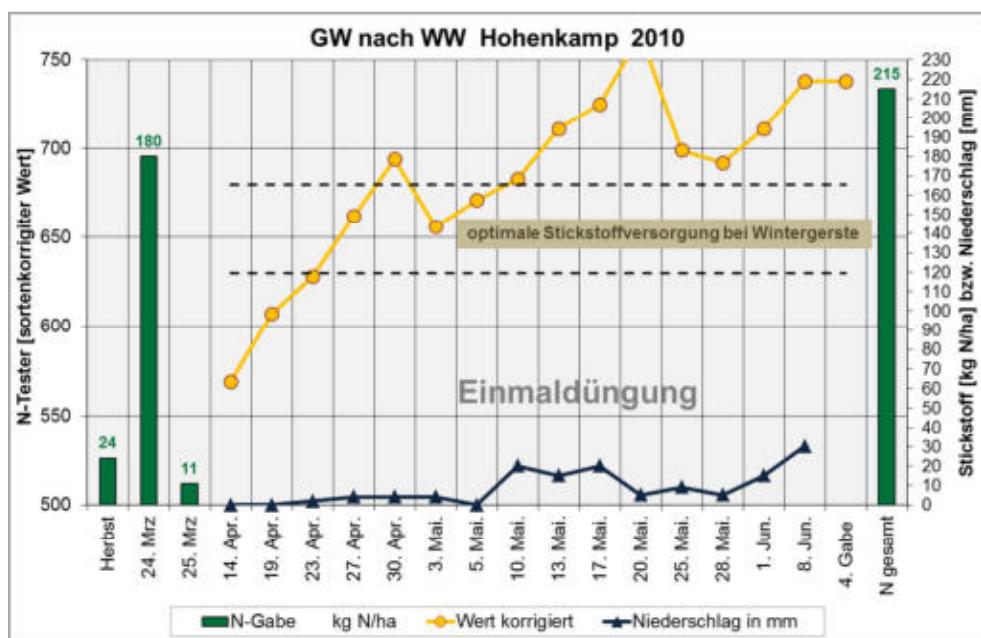


Abb. 58: N-Monitoring zur Einmaldüngung Hohenkamp 2010, GW nach WW.

Tab. 29: Ergebnisse der Stickstoffdüngung auf Hohenkamp 2010, GW nach WW

Hohenkamp 2010		Verfahren *	Ertrag dt/ha	Rohprotein % i. d. TS **	N-Düngung kg N/ha	N-Bilanz kg N/ha
WW-Vf	GW	BÜ	101,5	12,0	219	51
		SE	96,1	12,0	149	-9
		ED	106,0	12,0	220	45

\* Bü = betriebsüblich, SE = N-Sensor, ED = Einmaldüngung, \*\* DüngungsVO (Korn)

### Raureif und Tau

In der Andüngungsphase vom Winterraps zu Vegetationsbeginn ist Frost und damit Raureif auf den Beständen typisch (Abb. 59). Der Betrieb nutzt gezielt den Bodenfrost für die Befahrbarkeit der Flächen und zur Vermeidung von Fahrspurschäden. Die Düngung beginnt deshalb in den sehr frühen Morgenstunden und läuft bis zur Mittagszeit. Auf den angetauten Böden schwindet die Tragfähigkeit. Zur Schonung des Bodens verlassen die Fahrzeuge dann die Flächen. In den Versuchen wurde für die teilflächenspezifische N-Düngung mit dem N-Sensor, um das zweimalige variable Düngen umsetzen zu können, das Abtauen und Abtrocknen der Bestände abgewartet. Erst danach erfolgte die Stickstoffdüngung mittels Sensorsystem. Im Praxisbetrieb halbiert dieses Vorgehen die Tagesarbeitszeit.



Abb. 59: Raureif aber auch Tau auf den Pflanzenbeständen schließt den Sensoreinsatz für die teilflächenspezifische Düngung aus. (Foto: Borchardt)

### Sensoreinsatz braucht ausreichend Biomasse

Die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung mit dem Sensor braucht Rapsbestände, die ein bestimmtes Maß an Entwicklung erreicht haben. Festgemacht wird das am Biomasseschwellenwert, der für eine Minimumstickstoffaufnahme steht. Mindestens 80 % der Fläche sollen über die Minimumstickstoffaufnahme verfügen.

Ist diese Vorgabe unterschritten, wird vom Sensoranbieter für die Andüngung eine konstante Stickstoffmenge empfohlen. Anders würden Teilflächen unterdünkt und das realisierbare Ertragspotenzial dieser Teilflächen und des Gesamtschlages durch das Sensorsystem nicht ausgenutzt. Typisch sind unerentwickelte Rapsbestände zur ersten N-Gabe in Jahren mit ungünstigen Boden- und Witterungsbedingungen im Herbst und oder Winter. Sie gehen mit geringen Bestandsunterschieden einher.

Unterhalb des Biomasseschwellenwertes regelt der Sensor die N-Menge stark herunter. Im Extremfall bis auf 0 kg N/ha. Für solche Bestände werden geringe Erträge mit geringem mineralischen N-Bedarf erwartet. Ist die Bestandsentwicklung insgesamt unterdurchschnittlich, steigt der Anteil an Rapsfläche unterhalb des Biomasseschwellenwertes bzw. mit stark reduzierter N-Menge an. Die 80 % Regelung begrenzt diesen Flächenanteil auf maximal 20 %. Allerdings weist das System keinen Wert dafür aus oder gibt automatisch den Hinweis, auf konstante Düngung umzustellen. Beim Scannen einer Teststrecke ist auf die Häufigkeit des Symbols für unzureichende Bestandsmasse auf dem Monitor zu achten und anhand dessen der Flächenanteil mit Minimumsentwicklung abzuschätzen.

## Auswinterung

Die Rapsbestände am Standort waren im Frühjahr 2011 witterungsbedingt durch eine vorwiegend späte, unter schwierigen Bodenbedingungen stattfindende Aussaat mit anschließenden ungünstigen Etablierungs- und Entwicklungsbedingungen gekennzeichnet. Nur zwei Drittel der geplanten Rapsfläche konnte bestellt werden, von denen ein weiteres Drittel im Frühjahr umgebrochen wurde. Das letzte Drittel war nicht unter dem Aspekt zu erwartender wirtschaftlicher Erträge stehen geblieben, sondern im Hinblick auf die Arbeitswirtschaft zur Ernte und folgenden Aussaat. Der Betrieb wollte nach Gerste zur besseren Auslastung bzw. Entzerrung von Arbeitsspitzen des Mähdreschers mit Raps eine weitere frühe Frucht dreschen. Gleichfalls ermöglichte die verbleibende Rapsfläche vorfruchtbedingt einen früheren Start der Weizenaussaat.

## Schwefelversorgung sichern

Wer sich mit teilflächenspezifischer Stickstoff-Düngung und zwei variablen Stickstoffgaben im Raps auseinandersetzt, landet automatisch bei der Frage, wie die Schwefelversorgung zu organisieren ist. Betriebsüblich ist, den Winterraps mit zwei Stickstoffgaben im Frühjahr fertig zu düngen. Zum einen wird dafür eine größere Stickstoffmenge über einen reinen Stickstoffdünger und zum anderen eine kleinere N-Menge über einen Schwefel-Stickstoff-Dünger gegeben. Im Winterraps werden pro Hektar 40 bis 50 kg Schwefel zur Bedarfsdeckung appliziert. Dieses Vorgehen hat sich aus nährstoffbedarfs- und arbeitswirtschaftlichen sowie damit verbundenen Kostengründen bewährt.

In der absoluten Kalibrierung werden schwache Bestände mit maximal 120 kg N/ha zur ersten Gabe bzw. 150 kg N/ha zur zweiten Gabe gedüngt. Unterschreiten die Pflanzenbestände eine Entwicklungsuntergrenze, wird die N-Streumenge zügig nach unten abgeregelt. Wegen geringer Ertragserwartung und entsprechend geringem N-Bedarf erhalten sehr schwach entwickelte Flächenbereiche keinen Stickstoff. Bei sehr üppigen Bestandsabschnitten spart das Sensorsystem wegen guter Versorgung den Stickstoff komplett ein.

Wird zu einer der Gaben ein kombinierter Schwefel-Stickstoff-Dünger eingesetzt, wird außer dem Stickstoff auch den Schwefel variabel gedüngt (Abb. 60). Unabhängig vom Schwefelbedarf erhalten gut versorgte Teilflächen keinen Schwefel, ebenso wie sehr gering entwickelte Bestandsabschnitte. Je nach Düngertyp erhalten schwächere Teilflächen bei 120 kg N/ha und einem SSA (21 % N, 24 % S) 137 kg S/ha und einem ASS (26 % N, 13 % S) 60 kg S/ha. Überzogene Schwefelmengen kosten unnötiges Geld und zu geringe Schwefelmengen Ertrag bzw. Ertragssicherheit. Die Schwefelmenge für eine Teilfläche ergibt sich zufällig bzw. auf Basis des Scans und dem daraus berechneten Stickstoffbedarf sowie dem verwendeten Schwefel-Stickstoffdünger.

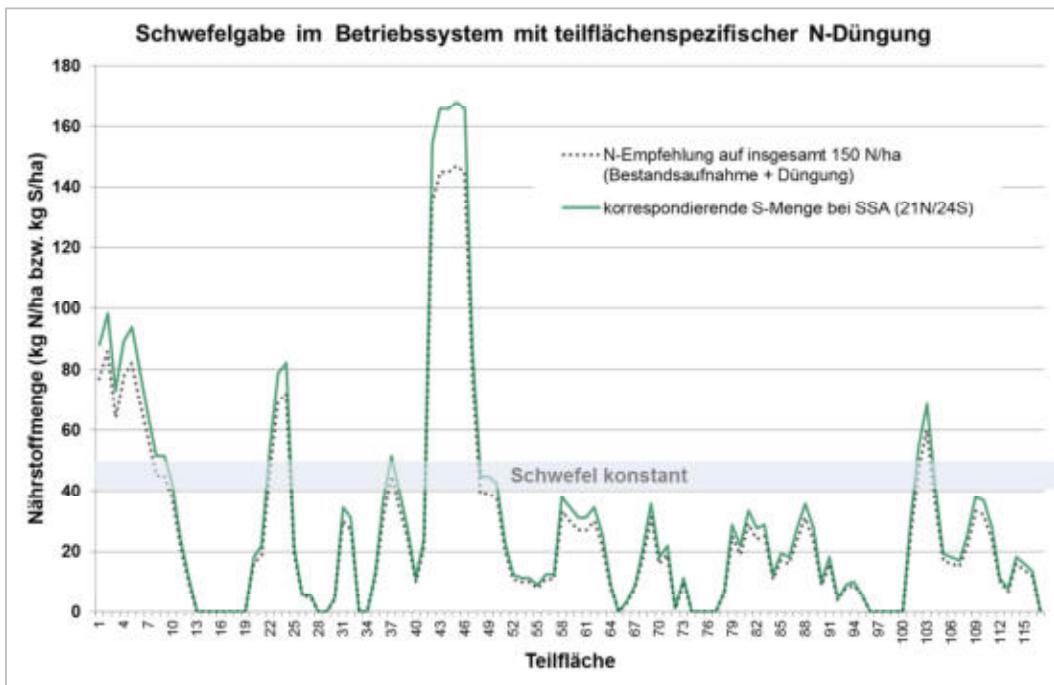


Abb. 60: Schwefel-Stickstoff-Dünger in der teilflächenspezifischen N-Düngung. Praxisüblich sind 40 – 50 kg S/ha zu Raps.

In Jahren mit insgesamt schwachen Beständen würde aufgrund des Stickstoff-basierten Düngealgorithmus ein anderes Schwefel-Düngungsniveau erreicht werden als in Jahren mit üppigen Rapsbeständen. Frühgesäte, meist üppigere Bestände erreichen deshalb ein anderes S-Niveau als Spätaatbestände mit eher geringerer Entwicklung.

Da die Versuche bzw. die Sensorvariante keinem Einfluss unspezifischer N-teilflächenbezogener Schwefelapplikation und damit negativen Auswirkungen auf Ertrag und Wirtschaftlichkeit ausgesetzt sein sollte, wurde zur Beibehaltung zweier variabler N-Gaben eine dritte konstante Gabe mit einem Schwefel-Stickstoffdünger zur Absicherung des Schwefelbedarfs als 1b eingeführt. Das wird in den Arbeitserledigungskosten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt.

#### Variable Abschlussdüngung

Die absolute Kalibrierung vom Raps ist für die Bestimmung eines angemessenen Stickstoffniveaus in der Abschlussgabe auf wenig Transit-Stickstoff aus den vorherigen mineralischen Stickstoffgaben im Boden angewiesen. Nur der in den grünen Pflanzen gespeicherte Stickstoff kann vom Sensor erkannt werden. Im Boden verbleibende Stickstoffmengen kann die Sensoroptik nicht erfassen. Je weiter der zeitliche Abstand der letzten Gabe zu den Vorausgehenden ist, umso wahrscheinlicher ist eine höhere Aufnahmemenge vom bereits gestreuten Stickstoff. Die Abschlussdüngung kann zu diesem Zweck jedoch nicht beliebig hinauszögert werden. Terminlich begrenzt wird sie nach hinten durch den Blühbeginn. Die gelben Blüten führen zu fehlerhaften Sensorergebnissen. Deshalb ist die letzte Sensorgabe vor Blühbeginn zu terminieren. Der Anschluss soll gefahren werden, wenn der Rapsbestand 90 % der mineralischen N-Menge der vorherigen Gabe aufgenommen hat. Um diesen Zeitpunkt zu erfassen, ist nach der vorherigen Gabe mehrfach der Bestand mit einigen Tagen Abstand zu scannen. In der Mehrzahl der Jahre hatten die Bestände das nicht erreicht. Aufgrund höherer Transit-N-Mengen aus der Düngung hätte dieses unter praktischen Bedingungen zu überzogenen N-Abschlussmengen (Abb. 61) mit der absoluten Kalibrierung geführt. Unter solchen Bedingungen wurde stattdessen die relative Kalibrierung im Raps angewendet, um die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung zu zwei Terminen sinnvoll umsetzen zu können.

Die letzte Stickstoffgabe in der betriebsüblichen Düngung läuft in der Regel früher als in der N-Sensorvariante empfohlen. Das Warten auf ausreichende N-Aufnahme aus den vorherigen Gaben führte in allen Jahren zu späteren Abschlussdüngungsterminen als in der betriebsüblichen Düngung.

Bei der Terminierung der N-Gaben berücksichtigen Praktiker neben Bestandsentwicklung und arbeitswirtschaftlichen Gegebenheiten auch Niederschlagsvorhersagen, damit der gestreute Dünger zur Wirkung kommen kann. Ist Niederschlag angekündigt und die Kapazitäten lassen es zu, wird die geplante N-Gabe um einige Tage vorgezogen. Die Düngergabe liegt dadurch zeitlich vor den angekündigten Niederschlägen.

Systemanwendungen, die bei der Terminierung das Witterungsgeschehen nicht berücksichtigen, weil im erforderlichen Sensor-Gesamtkonzept bei der Dünungsumsetzung anderen Parametern der Vorrang gegeben wird, schließen die Vorteile der praktischen Mischkalkulation aus. Beispielsweise wird in der absoluten Kalibrierung beim Raps einer hohen N-Ausnutzung der vorherigen N-Gaben, zur Vermeidung von überzogenen N-Abschlussmengen, der Vorrang gegeben. Offen bleibt für den Praktiker, wie er sich im Sinne guter Erträge, Qualitäten und N-Bilanzen bzw. einer Gesamtoptimierung zum Zeitpunkt der Dünung entscheiden soll.

Zur Nutzung der angekündigten Feuchtigkeit kann er einen früheren Termin wählen, zu dem jedoch die N-Ausnutzung für die absolute Kalibrierung im Bestand noch unzureichend ist. Dann würde er für eine gute N-Bilanz auf relative Kalibrierung ausweichen und die N-Mengen auf ein praxisübliches Niveau begrenzen. Dadurch sind aber mögliche Vorteile aus der Anwendung des am weitesten entwickelten Absolutsystems nicht abrufbar.

Wendet er die Absolutkalibrierung zum vorgezogenen Termin an, um die Niederschläge für die Düngewirkung positiv zu verbuchen, folgen daraus hohe N-Mengen und N-Salden, weil der noch im Boden befindliche gedüngte Stickstoff (Transit-N) vom System nicht erkannt wird.

Bei Dünung nach absoluter Kalibrierung für die Nutzung der Vorteile des weiterentwickelten bzw. weiteroptimierten Systems zum Zeitpunkt ausreichender N-Ausnutzung der vorherigen Gaben und der damit verbundenen Dünung nach dem Regenereignis wird auf dessen Vorteile verzichtet.

Leider ist erst aus der Rückschau klar, was die richtige Entscheidung und das Beste für Geldbeutel und Umwelt gewesen wäre und auch nur dann, wenn es im Betrieb einen Strategievergleich einschließlich einer parallelen betriebsüblichen manuellen Dünung im jeweiligen Einzeljahr gegeben hat. Am Ende überlagert immer die jedes Jahr individuelle Witterung die Vergleichsergebnisse. Deshalb ist ein mehrjähriger Vergleich erforderlich, um das Potenzial eines Verfahrens offenzulegen.

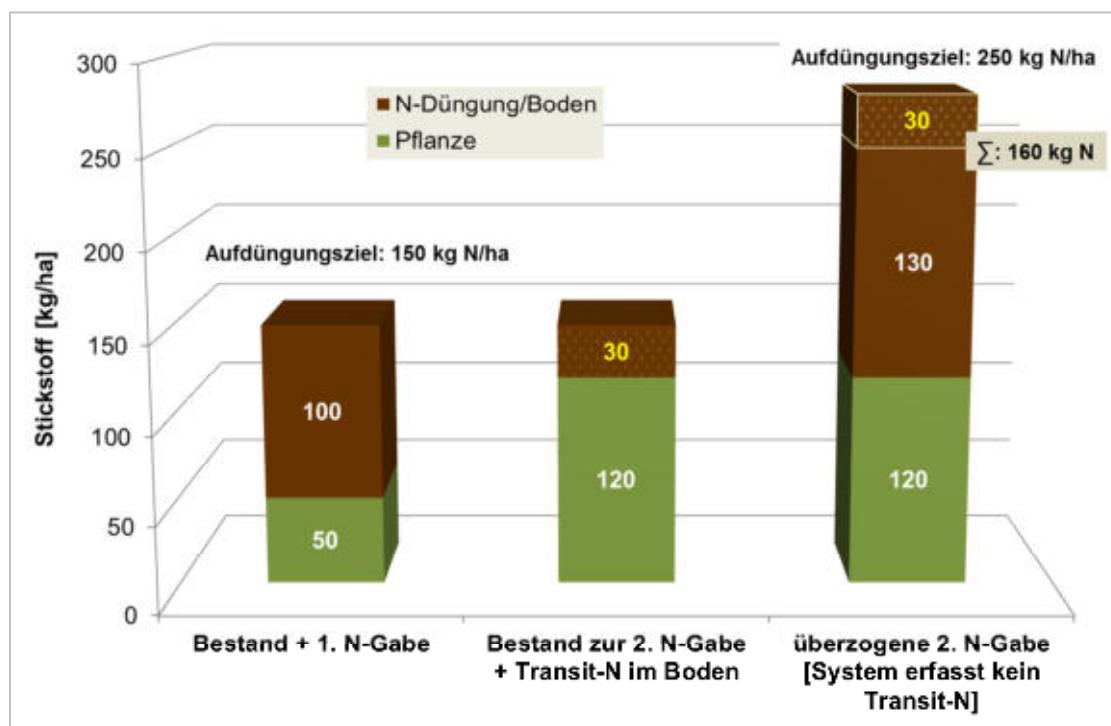


Abb. 61: In absoluten Systemen ist zum jeweiligen Dünungstermin eine hohe N-Ausnutzung der vorherigen N-Gaben und natürlichen N-Mineralisierung notwendig, um hohe überzogene N-Mengen und N-Salden zu vermeiden.

## Einmaldüngung im Raps

Durch die Einmaldüngung wie z. B. im Raps sollten arbeitswirtschaftliche und kostenseitige Vorteile eines N-stabilisierten schwefelhaltigen Stickstoffdüngers erprobt werden. Der verwendete Dünger enthielt 40 % N und 5,5 % S. 165 kg Gesamtstickstoff über Alzon S ziehen 23 kg Schwefel nach sich. Dagegen wird betriebsüblich im Raps zwischen 40 und 50 kg S/ha und Jahr gegeben. Weitere Stickstoffmengen werden über AHL vorwiegend in Verbindung mit Pflanzenschutzmaßnahmen gegeben.

Mit Alzon S in der Einmaldüngung werden zu einem Termin relativ hohe Düngermengen ausgebracht. Der verwendete Rauch AGT-Exaktstreuer kann die hohen Düngermengen bei den betriebsüblichen Arbeitsgeschwindigkeiten nicht ordentlich ausdosieren und informiert den Fahrer darüber. Die Fahrgeschwindigkeit ist deshalb zu reduzieren und die Flächenleistung bei der Ausbringung von Alzon S halbiert sich. Der Arbeitszeitbedarf der Applikation der Einmaldüngung mit Alzon S entspricht dem der betriebsüblichen Düngung mit der 2 Gabenstrategie. Im Raps sind daher beide Düngungs- bzw. Düngemittelstrategien hinsichtlich der Arbeitserledigungskosten gleichzusetzen.

## Weiteres

In allen Jahren waren die Bestände frei von Lager, unabhängig davon ob die Stickstoffmengen in stabilisierter Form in voller Höhe zu Vegetationsbeginn gegeben oder in Summe teilflächenspezifisch hohe N-Mengen gedüngt wurden. Der Mähdrusch lief daher insgesamt reibungslos und unbeeinflusst vom Düngeverfahren.

Im Sensor-Düngesystem fehlte die Option, konstante N-Mengen abzuziehen, um überzogene N-Mengen zu vermeiden. Das wird beispielsweise bei anteiliger Verwendung von AHL erforderlich. Die Abschlussdüngung im Raps liegt vor der Blütenspritzung. Mit der Blütenbehandlung wird jedoch noch einmal 20 kg N/ha über AHL ausgebracht. Auch bei Herbizidmaßnahmen mit AHL im Getreide, die unmittelbar vor der Sensordüngung ausgebracht werden, sind Korrekturen erforderlich. Eine konstante Abzugsmöglichkeit würde in beiden Fällen die N-Gesamtmengen begrenzen.

## Teilflächige Aussaat homogenisiert Bestände

Allen Projektschlägen liegt eine an den Boden angepasste teilflächenspezifische Aussaat zugrunde. Dadurch ergibt sich bereits ab der Etablierungsphase eine Homogenisierung der Bestandsdichten über alle Flächenteile. Der Regelbedarf in der Stickstoffdüngung sinkt deshalb.

## N-Bilanzen

Das Sensorsystem-Gesamtkonzept beinhaltet bei Raps und Getreide neben der teilflächenspezifischen Umverteilung, dass dem Landwirt eine insgesamt besser angepasste Stickstoffmenge empfohlen wird, als er selbstständig zum jeweiligen Termin ableiten kann. Beides soll die N-Effizienz des Verfahrens gegenüber anderen Verfahren steigern, auf wirtschaftlicher wie umweltseitiger Ebene. Tab. 30 zeigt die N-Salden der zwischen 2008 und 2012 unter unterschiedlichsten Witterungsbedingungen erprobten Stickstoffdüngungsverfahren. Der mittlere N-Saldo ist über alle Fruchtarten und Erntejahre berechnet. Die Verfahren weisen mit 63 bis 69 kg N/ha vergleichbare N-Salden auf. Das Saldomaximum wurde in der Ein-/Zweimaldüngung sowie bei der Online-basierten Sensordüngung im Erntejahr 2011 aufgrund insgesamt sehr schlechter Erträge und dadurch fehlender Nährstoffabfuhr erzielt (s. Abb. 1, S. 18). Das Saldo-Minimum des Yara-N-Sensors ergab sich auf dem Gerstenschlag im durchschnittlichen Erntejahr 2010. Der N-Tester hatte zur N3-Gabe 0 kg N/ha empfohlen, was entsprechend des Sensorkonzeptes umgesetzt wurde. Dadurch wurden in der Sensorvariante im Vergleich zur betriebsüblichen sowie zur Einmaldüngung 70 kg N/ha eingespart. Damit verbunden waren ein negatives N-Saldo sowie deutliche Ertragseinbußen. Wirtschaftlich konnten die Ertragsverluste durch die niedrigeren Stickstoffkosten nicht kompensiert werden.

Tab. 30: mittlere N-Bilanzüberschüsse der Stickstoffdüngungsverfahren 2008 bis 2012

kg N/ha	Betriebsüblich	Ein-/Zweimaldüngung	Yara-N-Sensor [Online]
Gesamtmitte	66	69	63
Maximum *	126	137	130
Minimum	-3	1	-9

\* Sensor- bzw. Ein-/Zweimaldüngung Ernte 2011

Der Yara-N-Sensor brachte unter den Gesamtbedingungen im Projekt hinsichtlich der N-Bilanz keine Vorteile.

- Exaktstreuer können nicht unmittelbar bzw. ortsgenau die Vorgabe vom Sensor umsetzen.
- Der N-Tester erfasst nicht sicher den abschließenden Düngebedarf.
- Absolute Kalibrierung neigt durch Transit-Stickstoff vorheriger Gaben zu überzogenen N-Einzelgaben und Gesamtmengen.
- Teilflächenspezifische Aussaat homogenisiert die Pflanzenbestände und mindert N-Regelbedarf.
- Raureif oder Tau verhindern den Sensoreinsatz.
- Sensoranwendung und gleichzeitige Schwefelsicherung schließen sich aus.
- Keine Vorteile hinsichtlich des N-Bilanzüberschusses.

#### 6.5.4.3.3. Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Die Stickstoffdüngungsverfahren - Betriebsüblich, Ein-/Zweimaldüngung und N-Sensor - werden wirtschaftlich auf Grundlage der Direkt- und arbeiterledigungskostenfreien Leistung (DAL) verglichen (siehe Kapitel 6.3.2, S. 75). Für den Yara-N-Sensor wurden Managementkosten, die sich aus dem Einsatz des reinen Onlineverfahrens ergeben, angesetzt. Die Software erlaubt grundsätzlich auch Map-Overlay durch Einbindung von Offline-Karten, die Nutzung wird jedoch vom Hersteller nicht empfohlen und wurde somit auch im Projekt nicht eingesetzt. Für das zweimalige N-Monitoring pro Woche im Getreide werden Anbaublocke je Fruchtfolgeglied und Sorte im Getreide empfohlen. Der Betrieb beprobt je Block einen Schlag, der repräsentativ für das N-Monitoring, die Stickstoffversorgung und die Sensordüngung der Schläge steht. Im Vergleich zur Einzelschlagbeprobung spart dieses Vorgehen Arbeitszeit. Zusätzlich gehen Kosten für die Kalibrierfahrten zum Düngetermin mit ein. Auch die Testfahrten zur Bestimmung des geeigneten Abschlussdüngungstermins zur Umsetzung der empfohlenen absoluten Kalibrierung im Raps sind kostenseitig berücksichtigt. Ohne diesen Aufwand wären andernfalls die N-Kosten und N-Bilanzen überzogen. Wichtig für verlässliche Sensormesswerte ist die Investition in die Sensorwartung durch den Vertreiber zum jeweiligen Düngesaisonstart. Die Umstellung der Einmaldüngung auf die Zweimaldüngung fand im Winterweizen bzw. Stoppelweizen zur Ernte 2011 statt, zur weiteren Absicherung der Qualitäten und Erträge.

Auf Gesamtbetriebsebene ist im Mittel der Erntejahre 2008 bis 2012 über alle Fruchtfolgeglieder die Düngungsvariante „Betriebsüblich“ mit 1.747 €/ha die Variante mit der höchsten Marktleistung (Abb. 62). Gefolgt von der „Ein-/Zweimaldüngung“ sowie der Sensorvariante mit 40 €/ha geringerem Erlös. Die Direktkostenunterschiede zwischen den Düngungsstrategien ergeben sich aus unterschiedlichen N-Mengen bzw. aus Preisdifferenzen zwischen den eingesetzten Stickstoffformen. Die Ein-/Zweimaldüngung mit stabilisiertem Stickstoff zeigt aufgrund dessen rund 25 €/ha höhere Kosten. Die Arbeitserledigungskosten zwischen allen Varianten unterscheiden sich nur geringfügig. Der Sensorvariante werden rund 10 €/ha mehr zugerechnet aufgrund der Anschaffungs- und Managementkosten des Sensorsystems. Die Sensorkosten beziehen sich in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen auf einen 1.000 ha-Betrieb, entsprechend der Helmstorfer Betriebsgröße. In Tab. 27, S. 92 werden ebenfalls Kostenberechnungen der Sensorsysteme für kleinere

Betriebe dargestellt. Die Ein-/Zweimaldüngung mit Alzon S erzielt trotz der reduzierten Durchfahrtskosten keine auffallend geringeren arbeitswirtschaftlichen Vorteile. Die Begründung liegt in der geringen Fahrgeschwindigkeit und dem damit doppelt verbundenen Arbeitszeitbedarf zum Ausbringen der großen Stickstoffmenge mit Alzon S. Daraus resultierend ergibt sich die höchste DAL in der betriebsüblich gedüngten Variante von 795 €/ha. Aufgrund geringerer Erträge und zusätzlich höherer Stickstoffkosten in der Ein-/Zweimaldüngung erzielen die Sensor- als auch Ein-/Zweimaldüngung eine geringere DAL von rund 50 €/ha.

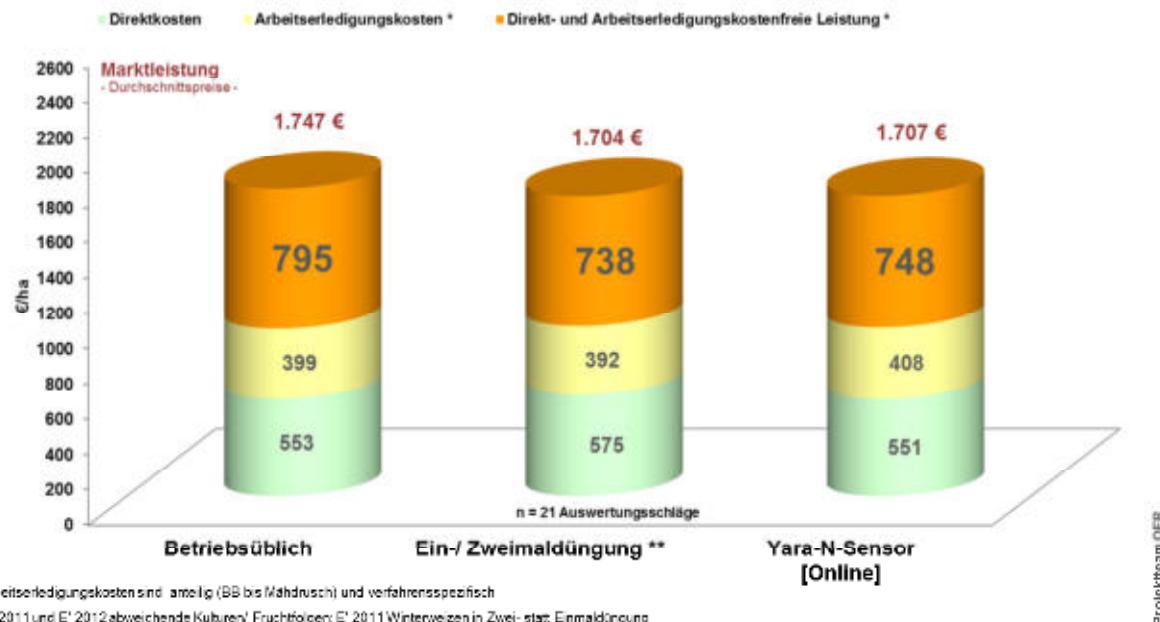


Abb. 62: Wirtschaftlichkeit der N-Düngungsverfahren 2008 bis 2012. Mittel aus Fruchfolge Raps-Weizen-Gerste/Weizen

Im Folgenden werden die Unterschiede der Verfahren in ihrer Wirtschaftlichkeit in den einzelnen Fruchfolgeglieder Raps, Weizen, Stoppelweizen und Gerste betrachtet. Die Rapsergebnisse basieren auf drei Auswertungsschlägen (Tab. 31). Zusätzlich zu den nicht auswertbaren Ergebnissen 2011 aufgrund von Auswinterungsschäden war zu Beginn der Projektphase noch kein N-Sensor auf dem Betrieb vorhanden. Hierdurch konnte zur Ernte 2008 kein Vergleich mit der N-Sensorvariante stattfinden. Im Mittel über die Jahre stellt die betriebsübliche Variante im Raps den höchsten Erlös mit 2.068 €/ha sicher. Gefolgt von der Einmaldüngung und dem N-Sensor, die eine 53 €/ha bzw. 40 €/ha geringere Marktleistung erzielten. Die Direktkosten unterscheiden sich nur geringfügig um rund 10 €/ha, die sich durch divergierende Stickstoffform und -menge ergeben. Auch die Arbeitserledigungskosten unterscheiden sich nur gering. Der Sensorvariante werden rund 10 €/ha mehr zugerechnet aufgrund der Anschaffungs- und Managementkosten des Sensorsystems. Im Raps bringt die Einmaldüngung mit Alzon S keine arbeitswirtschaftlichen Vorteile. Die Anzahl der Durchfahrten wurde reduziert, jedoch zeigen sich in den Berechnungen keine Einsparungen wieder, da die geringe Fahrgeschwindigkeit und der damit verbundene erhöhte Arbeitszeitbedarf zum Ausbringen der großen Alzon-Düngermenge höhere Kosten mit sich bringen. Die Flächenleistung bei der Einmaldüngung im Raps wird halbiert. Dadurch gibt es keinen Arbeitszeitvorteil, da der Raps betriebsüblich im Frühjahr mit 2 Durchfahrten fertiggestellt wird. Schlussendlich zeigt die DAL den höchsten Betrag in der betriebsüblichen Düngung (1.039 €/ha), der aus dem etwas höheren Ertrag sowie geringeren Arbeitserledigungskosten hervorgeht. Die Einmaldüngung sowie die Sensorvariante erzielen 48 bzw. 59 €/ha weniger, im Wesentlichen aufgrund der geringeren Marktleistung und in der Sensorvariante durch die etwas höheren Arbeitserledigungskosten.

Tab. 31: Einfluss der N-Düngungsverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Raps von 2008-2012 (ausgenommen der Ernte 2008, 2011)

Raps [€/ha) 3 Auswertungsschläge	Betriebsüblich	Einmaldüngung	Yara-N-Sensor [Online]
Marktleistung	2.068	2.015	2.028
Direktkosten	653	645	658
Arbeitserledigungskosten	377	379	390
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	1.039	991	980

Im Weizen nach Raps werden sechs Schläge in die Auswertung einbezogen, wobei zur Ernte 2011 im Weizen bzw. Stoppelweizen eine Umstellung der Einmaldüngung auf die Zweimaldüngung stattfand, die zur weiteren Absicherung der Erträge und Qualitäten diente. Im Mittel über die Jahre stellen das betriebsübliche Düngeverfahren und der N-Sensor die höchsten Erlöse von 1.784 €/ha und 1.766 €/ha sicher (Tab. 32). Aufgrund eines schwächeren Ertrages erzielt die Ein-/Zweimaldüngung eine geringere Marktleistung von 61 €/ha. Die Direktkosten unterscheiden sich zwischen der betriebsüblichen- und der Sensor-Variante geringfügig. Hingegen zeigt die Ein-/Zweimaldüngung rund 25 €/ha höhere Kosten aufgrund der ausgebrachten Stickstoffform und -menge mit Alzon S. Arbeitswirtschaftlich werden durch die geringe Fahrgeschwindigkeit zum Ausbringen der großen Stickstoffmenge im Vergleich zu „Betriebsüblich“ keine großen Vorteile der Einmaldüngung mit Alzon S sichtbar. Nach der Umstellung von der Einmal- auf die Zweimaldüngung wurde eine leichte Arbeitserledigungskostensteigerung im Weizen vermerkt. Die Flächenleistung der ZD ist in der Durchfahrt zu N1 höher als bei der ED, jedoch immer noch geringer im Vergleich zur betriebsüblichen Düngung. In Summe wird der leichte arbeitswirtschaftliche Vorteil gegenüber der betriebsüblichen Düngung durch die Umstellung von Einmal- auf Zweimaldüngung geschmälert, jedoch war die Umstellung zur weiteren Absicherung der Erträge bzw. Qualitäten sinnvoll. Der Sensorvariante werden rund 10 €/ha mehr zugerechnet aufgrund der zusätzlichen Kosten durch den Sensor im reinen Onlineverfahren. Schlussendlich zeigt die DAL den höchsten Betrag in der betriebsüblichen Düngung. Die Sensorvariante erzielt eine um 35 €/ha geringere DAL aufgrund der höheren Arbeitserledigungskosten und der etwas geringeren Erträge. Die Ein-/Zweimaldüngung zeigt einen deutlichen geringeren Unterschied der DAL von 80 €/ha im Vergleich zur betriebsüblichen Düngung. Diese Differenz basiert auf den Ertragseinbußen sowie auf den höheren Stickstoffkosten.

Tab. 32: Einfluss der N-Düngungsverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Rapsweizen von 2008-2012

Weizen nach Raps [€/ha) 6 Auswertungsschläge	Betriebsüblich	Ein-/Zweimal-düngung	Yara-N-Sensor [Online]
Marktleistung	1.784	1.723	1.766
Direktkosten	463	492	469
Arbeitserledigungskosten	380	371	391
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	940	860	905

Die Stoppelweizenergebnisse basieren auf sieben Auswertungsschlägen, wovon ein Ergebnis auf einen Sommerweizenschlag basiert. Aufgrund der ungünstigen Aussaatbedingungen konnte im Jahr 2011 kein Winterweizen nach Winterweizen folgen. Die höchste durchschnittliche Marktleistung wird mit 1.607 €/ha der betriebsüblichen Variante zugewiesen, wobei die Ein-/Zweimaldüngung 32 €/ha und die

Sensorvariante 44 €/ha weniger erzielen (Tab. 33). Die Direktkosten unterscheiden sich nicht zwischen der betriebsüblichen- und der Sensor-Variante. Hingegen zeigt die Ein-/Zweimaldüngung rund 33 €/ha höhere Kosten aufgrund der ausgebrachten Stickstoffform und -menge mit Alzon S. Arbeitswirtschaftlich werden durch die geringe Fahrgeschwindigkeit zum Ausbringen der großen Stickstoffmenge auch im Stoppelweizen nur leichte Vorteile der Ein-/Zweimaldüngung mit Alzon S sichtbar. Der Sensorvariante werden rund 10 €/ha mehr zugerechnet aufgrund der Anschaffungs- und Managementkosten des Sensorsystems. Die DAL zeigt den höchsten Betrag in der betriebsüblichen Düngung (616 €/ha), der im Wesentlichen aus dem Ertragsvorteil hervorgeht. Die Sensorvariante und die Ein-/Zweimaldüngung erzielen rund 50 €/ha weniger auch aufgrund der höheren Arbeitserledigungskosten in der Sensorvariante bzw. der höheren Direktkosten in der Ein-/Zweimaldüngung.

Tab. 33: Einfluss der N-Düngungsverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Stoppelweizen von 2008-2012

Stoppelweizen [€/ha] 7 Auswertungsschläge	Betriebsüblich	Ein-/ Zweimal- düngung	Yara-N-Sensor [Online]
Marktleistung	1.607	1.575	1.563
Direktkosten	581	613	579
Arbeitserledigungskosten	410	401	418
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>	<b>616</b>	<b>561</b>	<b>566</b>

Die Ergebnisse der Wintergerste basieren auf vier Auswertungsschlägen (Tab. 34). Aufgrund insgesamt schlechter Aussaatbedingungen fand im Herbst 2010 keine Gerstenaussaat statt. Die höchste mittlere Marktleistung wird mit 1.698 €/ha der betriebsüblichen Variante zugewiesen. Die Einmaldüngung befindet sich auf einem gleichen Niveau, wobei die Sensorvariante eine rund 40 €/ha geringere Marktleistung aufzeigt aufgrund des geringeren Ertrages. Die Unterschiede der Direktkosten zwischen den N-Düngeverfahren basieren auf den divergierenden Stickstoffformen und -mengen. Vor allem die Einmaldüngung zeigt rund 20 €/ha höhere Kosten im Vergleich zur betriebsüblichen Variante durch den ausgebrachten Alzon-S Dünger. Arbeitswirtschaftlich werden durch die geringe Fahrgeschwindigkeit zum Ausbringen der großen Stickstoffmenge auch in der Gerste keine großen Vorteile der Einmaldüngung sichtbar. Schlussendlich zeigen die betriebsübliche Variante und Einmaldüngung nur einen eher geringen Unterschied von 20 €/ha in der DAL. Der Abstand zur Sensorvariante hingegen ist mit 40 €/ha größer, die dem geringeren Ertrag zuzuordnen sind.

Tab. 34: Einfluss der N-Düngungsverfahren auf die Wirtschaftlichkeit in der Gerste von 2008-2012 (ausgenommen 2011)

Gerste [€/ha] 4 Auswertungsschläge	Betriebsüblich	Einmaldüngung	Yara-N-Sensor [Online]
Marktleistung	1.698	1.686	1.650
Direktkosten	540	558	527
Arbeitserledigungskosten	423	414	428
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>	<b>735</b>	<b>714</b>	<b>695</b>

- Die Stickstoffdüngung mit dem Yara-N-Sensor sowie die Ein-/Zweimaldüngung stellen unter den Standortbedingungen auf Gut Helmstorf keine wirtschaftlichen Vorteile dar.
- Die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen sind bei der betriebsüblichen Düngungsstrategie im Mittel der Versuchsjahre in der Gesamtfruchtfolge um ca. 50 € höher. Diese Tendenz spiegelt sich ebenso in allen Fruchtfolgegliedern wieder.

#### 6.5.4.4. Isaria-Sensor (Map-Overlay-Verfahren)

##### 6.5.4.4.1. Technische Realisierung

Das Düngesystem Isaria (Abb. 63) wurde in 2012 testweise und ab 2013 bis zur N2 im Weizen in 2016 in allen Kulturen eingesetzt und besteht aus den folgenden Komponenten:

- Isaria-Sensor mit integrierter GNSS-Antenne
- Terminal mit Software



Abb. 63: Isaria-Sensor in der Fronthydraulik des Schleppers (Foto: Obenauf)

Der Sensor wird in der Fronthydraulik des Schleppers eingehängt und benötigt dort nur eine Stromversorgung. Der Datenaustausch zwischen Sensor und Terminal erfolgt kabellos via Bluetooth. Die zum Sensorsystem gehörende Software läuft auf einem windows-basierten Terminal. Es kommuniziert über nur eine serielle Schnittstelle (RS232) und einem Wandler (SCUL-Box) mit dem Terminal des Streuers und schreibt Daten zurück.

Die Sensorköpfe blicken senkrecht auf den Bestand und befinden sich am Ende eines Gestänges, das für jeden Einsatz auseinandergeklappt werden muss (Abb. 64). Die Höhe der Köpfe über dem Bestand soll etwa 80-100 cm betragen. Der genutzte Reflexionsindex ist grundsätzlich höhenabhängig, der Einfluss in diesem Höhenbereich laut Herstellerangaben aber vernachlässigbar. Durch die Vorfahrt ergibt sich so ein Messstreifen, der bei 24 m Fahrgassenabstand etwa 2,5 %, bei 36 m Fahrgassenabstand etwa 1,7 % des Bestands erfasst. Aus den Daten der beiden Messköpfe wird ein Signal für die gesamte Arbeitsbreite berechnet. Eine Ansteuerung einzelner Teilbreiten oder halben Streuerbreiten ist im Iso-Bus nicht vorgesehen.



Abb. 64: Messpunkt Isaria-Sensor (Foto: Lubkowitz)

Die Gestängelänge und damit die Position der Messköpfe über dem Bestand orientiert sich an der Arbeitsbreite der verwendeten Drillmaschine. So soll sichergestellt sein, dass die Sensorköpfe nicht im Übergang zwischen zwei Spuren der Drillmaschine messen. Im eingeklappten Zustand ist die Länge durch die zulässige Gesamthöhe der StVO begrenzt.

Die gesamte Steuerung des Sensors incl. des Klappens vom Gestänge erfolgt über das Terminal. Ein manuelles Klappen des Sensors ohne Terminal ist im Bedarfsfall durch einen Knopf an der Unterseite des Sensorgehäuses möglich.

Der Isaria-Sensor kann bei Bedarf auf einem maschinenspezifischen Anbaubock montiert werden und ist somit z. B. auch in Kombination mit der Selbstfahrerspritze einsatzfähig. Die Kombinationsmöglichkeit mit der Pflanzenschutzspritze ermöglicht u. a. einen Herbstscan, ohne dass eine zusätzliche Durchfahrt nötig wird (vgl. Kap. 6.5.3, S. 91). Dazu gibt einen einfachen Scanmodus, bei dem der Fahrer keine zusätzlichen Eingaben machen muss.

Das Sensorsystem bot für die N-Düngung im Weizen ein absolutes Modul. Für alle anderen Fruchtarten war ein relatives Modul vorhanden. Der Sensor ist nicht für andere Anwendungen wie Wachstumsregler- oder Fungizidapplikationen eingesetzt worden.

#### 6.5.4.4.2. Erfahrungen im praktischen Einsatz

##### Technik

Die Stromversorgung erfolgte zunächst über die vorhandene Anhängersteckdose an der Schlepperfront. Neuere Schleppertypen überwachen diese Dose mittels elektronischer Sicherung. Diese registriert beim Klappen des Gestänges einen zu hohen Strom (im Vergleich zum erwarteten Lichtstrom) und schaltet die Dose zur Sicherheit ab. Eine Anpassung dieses Schwellenwertes ist nicht möglich. Es musste daher eine zusätzliche Stromversorgung installiert werden.

Beim Einschalten des Sensors läuft dieser meistens nicht vollständig hoch. Erst nach einem weiteren Einschalten werden alle Komponenten des Sensors sicher erkannt.

Die Gestängelänge ist für den Praxiseinsatz im hügeligen Gelände nicht ausreichend. An Seitenhängen, an denen die Drillmaschine bei der Aussaat seitlich weggerutscht ist und sich Lücken im Bestand ergeben haben, ist der Messkopf genau über dieser Lücke positioniert gewesen. Im eingeklappten Zustand schränkt das Gestänge die Sicht des Fahrers ein und das Sensorgehäuse verdeckt das Fahrlicht.

Die Messköpfe waren in den ersten Jahren noch fehlerhaft und wurden nach einiger Zeit vom Hersteller Fritzmeier zurückgerufen und verändert. Es war aufgefallen, dass der Sensor bei Sonnenschein keine plausiblen Werte lieferte, dafür aber bei bedecktem Himmel und über stark reflektierenden Schneeresten. Über den Sensor erfasste Daten werden in zwei binären Dateien gespeichert. Ein Export in verschiedene Formate ist direkt auf dem Terminal möglich. Exportiert werden zwei dimensionslose Indizes für Reflexion (IRMI) und Biomasse (IBI) sowie die Sollmenge und die Angabe zum Ertragspotenzial. Laut Hersteller sind intern noch mehr Daten in den Dateien gespeichert, die aber nur auf Anfrage konvertiert

werden können. Dazu müssen die Rohdaten an den Hersteller versendet werden. Von Interesse wären besonders die rückgeschriebenen Daten vom Streuer, aber auch die Daten zur Höhe der Messköpfe über dem Bestand.

- aktives Sensorsystem mit eigener Lichtquelle
- Wenig Messfläche im Vergleich zur Arbeitsbreite (hier 0,6 m zu 36 m = 1,7 %)
- Reflexionsindex IRMI als Messwert ohne Bezug zur N-Aufnahme

## Pflanzenbau

Zur Weiterentwicklung des Sensorsystems wurde zur Projekthälftenzeit in 2013 auf ein neues Sensorverfahren „Online mit Map-Overlay“ (Isaria-Sensor - Fa. Fritzmeier, Ertragspotenzialkarten - Fa. AGRO-SAT) umgestellt. Das Isaria-System wurde vom Vertreiber mit dem Hinweis ins Projekt eingeführt, dass kein Stickstoff gespart, sondern dass dieser für den betrieblichen Erfolg besser verteilt werden soll. Die betriebsübliche N-Düngung ist in allen Jahren unverändert geblieben. Der Fahrer regelt die N-Menge anhand augenscheinlicher Bestandsunterschieden manuell aus.

Die Einmal- bzw. Zweimaldüngung lief in der zweiten Projekthälfte für eine optimierte Stickstoffverteilung auf Basis eines Mapping-Ansatzes. Genutzt wurde dafür die jeweilige schlagspezifische Ertragspotenzialkarte bzw. die Informationen zu den Teilflächen des entsprechenden Varianten-Großteilstücks. Beim Winterraps wurde die N-Menge zum Einmaldüngungstermin differenziert und mit Alzon S durchgeführt. In der Zweimaldüngung bei Winterweizen und Wintergerste wurde zu Vegetationsbeginn konstant eine erhöhte N-Menge über Alzon S gegeben. Die Differenzierung fand mit Harnstoff mit der zweiten Stickstoffgabe zu N3 statt. Die Streukarten wurden ausgehend von einer mittleren Grundmenge nach dem Grundsatz „höheres Ertragspotenzial bekommt Stickstoffzuschläge und niedrigeres Ertragspotenzial Stickstoffabschläge“ vom Projektteam in Anlehnung an die Richtwerte erstellt.

Zur Optimierung bzw. für eine andere Systematisierung der N-Düngung zu Winterraps im Frühjahr wurde gleichzeitig die N-Aufnahme im Herbst zu Vegetationsende bestimmt (s. Kap. 6.5.3). In der betriebsüblichen sowie in der Ein-/Zweimaldüngung wurden die Herbst-N-Aufnahmen nach Frischmassemethode berücksichtigt. In der Sensordüngung wurden die erfassten Werte aus dem Sensorscan und der Frischmassemethode dem Sensorhersteller zur Streukartenerstellung zur Verfügung gestellt. Der Betrieb hatte zur Optimierung seiner Rapsdüngung während der ersten Projekthälfte je nach Jahr und Einzelflächen die Stickstoffmengen aufgrund von praktischen Erfahrungen differenziert. Schwache Bestände erhielten Zuschläge und üppige Bestände Abschläge von der durchschnittlichen Jahresstickstoffmenge.

## Online mit Map-Overlay

Das Isaria-Sensorsystem arbeitet zur Berechnung des Stickstoffdüngungsbedarfs einer Teilfläche zeitgleich mit einem Offline- und einem Online-Part. Dieses Verfahren wird als Online mit Map-Overlay bezeichnet. Der Offline-Part ist eine Ertragspotenzialkarte. Sie enthält Informationen zum relativen Ertragsvermögen der Teilflächen eines Schlages. Das mittlere Ertragspotenzial eines Gesamtschlages liegt bei 100 % und ergibt sich aus den Ertragspotenzialen der einzelnen Teilflächen.

Der Online-Part erfasst die aktuelle Bestandsentwicklung. Es ist ein sortenunabhängiger Vegetationsindex. Das System sieht keine Ermittlung der Stickstoffversorgung und des N-Bedarfs durch einen N-Tester o. ä. vor.

Aus der Karte generiert sich eine Stickstoffmenge entsprechend des Ertragspotenzials. Ertragspotenzial und zu düngende Stickstoffmenge sind im System mit positiver Korrelation hinterlegt. D. h. eine Teilfläche mit hohem relativem Ertragspotenzial bekommt hohe Stickstoffmengen. Im Umkehrschluss folgen aus einem niedrigen relativen Ertragspotenzial geringe absolute Stickstoffmengen. Für das Sensorsystem Online mit Map-Overlay ist die Karteninformation nur eine Größe zur Optimierung der Stickstoffmengenverteilung. Zusätzlich geht die aktuelle Bestandsentwicklung bei der Berechnung der N-Menge mit ein. Auf einer Teilfläche mit einem bestimmten Ertragspotenzial werden

Bestandsunterschiede ausgeregelt. Eine geringe Bestandsentwicklung ist mit N-Zuschlägen und eine höhere Bestandsentwicklung mit N-Abschlägen auf die Ertragspotenzialmenge verbunden. D. h. der aktuelle Vegetationsindex und die Stickstoffdüngungsmenge sind negativ korreliert.

Das Wintergetreide ist zu Vegetationsbeginn schlageinheitlich anzudüngen. Ab N2 wird vom Sensorhersteller die Anwendung bzw. variable Düngung nach Online mit Map-Overlay empfohlen. Für den Winterweizen stand bereits ab der Einführung ins Projekt ein absolutes Düngesystem zur Verfügung. Dafür sind im System das Qualitätsziel (E-, A-, B-, C-Weizen), das aktuelle EC-Stadium, das EC-Stadium zum nächsten Düngetermin, das mittlere absolute Ertragsniveau, die minimale und die maximale N-Menge und ggf. eine Korrektur sowie der N-Gehalt des Düngers anzugeben. Aus den Informationen in Verbindung mit der Ertragspotenzialkarte und der aktuellen Bestandsentwicklung berechnet das System eigenständig die zu düngende Stickstoff- bzw. Düngermenge einer Teilfläche. Bei Wintergerste wurde mit einem relativen System gearbeitet. Im Projekt kam der 1-Punkt-Modus zur Anwendung. Dazu wurde eine Teststrecke abgescannt und dieser eine definierte Stickstoffmenge zugeordnet (Abb. 70, S. 116). Teststrecken sollen ein Ertragspotenzial von 100 % aufweisen und einen mittleren Bestand darstellen. Abhängig vom relativen Ertragspotenzial und von der Bestandsentwicklung ändert sich die N-Menge aller anderen Teilflächen. Bei bspw. 70 kg N/ha in 100 % Ertragspotenzial erhöht eine 10%ige Ertragspotenzialsteigerung auch die relative N-Menge um 10 %. Absolut entspricht das einer zusätzlichen N-Menge von 7 kg N/ha bzw. insgesamt 77 kg N/ha für 110 % Ertragspotenzial.

Die verschiedenen Einstellparameter für die Steigung (wie viel N-Änderung je Messwertänderung), Richtung (höherer Messwert = mehr oder weniger N) wurden für die Versuche direkt beim Hersteller abgefragt. Zusätzlich gab es zahlreiche Testscans pro Jahr mit verschiedenen Einstellungen, um einen Eindruck zur empfohlenen N-Menge aus dem Sensorsystem zu bekommen (s. Tab. 42, S. 134). Die Ergebnisse wurden mit dem Sensorhersteller vor der jeweils anschließenden Stickstoffgabe diskutiert und besonders beim absoluten Weizensystem waren nach Rücksprache anteilig manuelle Anpassungen der Stickstoffmenge im Hinblick auf Gesamt Mengen und N-Bilanzüberschüssen nötig. Das parallele Erproben verschiedener Einstellparameter bzw. ihrer Kombinationen war sehr aufwendig und ist unter Praxisbedingungen nur schwer umzusetzen. Um für den Praktiker pflanzenbaulich valide IRMI-Steigung zu ermitteln, wären zudem mehrjährige Versuche einschließlich einer betriebsüblichen manuellen Variante sowie eine Ertragsfeststellung an der Fuhrwerkswaage und Qualitätsuntersuchungen notwendig. Für den Einzelbetrieb ist das kaum bis gar nicht zu leisten.

Im Wintergetreide wurde entsprechende der Herstellerempfehlung zu N2 und N3 nach dem Map-Overlay-Verfahren gedüngt. In allen Jahren gab es im Vergleich zum Praxisbetrieb hohe N-Empfehlung aus dem absoluten Modul zu N2 vom Weizen. Bereits in der Sensorvorerprobung in 2012 wurde die Entwicklung bzw. Bereitstellung eines absoluten Düngesystems für weitere Kulturen in Aussicht gestellt. Für Gerste war bis zum Schluss keines verfügbar.

Im Raps gab es für den Isaria-Sensor vom Hersteller eine Weiterentwicklung des anfänglichen Systems. Im Zeitraum 2013 bis 2016 änderte sich die Rapsdüngung von Jahr zu Jahr. Angefangen bei Online mit Map-Overlay und einer reinen Zonenkarte ohne Empfehlungen zur N-Differenzierung zwischen zwei Zonen mit eigenen Annahmen für die Berechnung geeigneter Abstufungen hin zu einer Streukarte, in der die teilflächenspezifische Herbst-N-Aufnahme nach einem französischen Modell berücksichtigt und auch das teilflächenspezifische Ertragspotenzial eingebunden wurde. Der Sensorhersteller favorisiert für den erfolgreichen Sensoreinsatz keine besondere Gabenstrategie, daher wurde wie in der Variante „Betriebsüblich“ eine 2-Gabenstrategie gefahren. Zu einem Düngungstermin wurde variabel und mit Harnstoff nach Streukarte gedüngt und zu einem anderen schlageinheitlich mit einem schwefelhaltigen Stickstoffdünger zur sicheren Deckung des Schwefelbedarfs.

Insgesamt ist das System sehr komplex. Es bietet viele Möglichkeiten der Einflussnahme zur Regulierung der N-Mengen. Im Kartenbereich genauso wie im Sensorbereich. Eindeutige Empfehlungen fehlen leider oft.

## Ertragspotenzialkarten im OFR-Projekt

Vom Isaria-Sensorhersteller Fritzmeier wurde die Firma AGRO-SAT für die Erstellung der Ertragspotenzialkarten empfohlen, die über alle Jahre beginnend mit der Ersterstellung und später mit der Aktualisierung der Ertragspotenzialkarten im OFR-Projekt beauftragt wurden. Das Unternehmen AGRO-SAT arbeitete damals ausschließlich mit Satellitendaten. Im OFR-Projekt wurden zusätzlich die Daten aus den mehrjährigen Ertragskarten der einzelnen Projektschläge integriert. Die Mähdrescherdaten wurden anteilig zur Validierung bzw. Einschätzung der Satellitendaten genutzt. 2013 waren Zonenkarten bzw. Managementzonenkarten mit Ertragsklassen eingesetzt worden. In den Folgejahren fand aus verschiedenen Gründen eine modifizierte Kartenversion Verwendung. Die Gründe sind im Kap. 6.5.4.4.3, ab S. 117 näher erläutert.

Ab 2014 wurden für die Düngungsschläge im OFR-Projekt Ertragspotenzialkarten (EPK) im 36 m-Raster mit Fahrgassenanpassung berechnet. Informationen lieferten dafür mehrjährige ausgewählte Satellitenbilder, mit möglichst hoher Korrelation zueinander und mehrjährige Ertragsdaten vom Mähdrescher. Die Informationsquellen gingen jedoch nicht 1:1 in die Berechnung des Ertragspotenzials ein. Teilweise wurden vom Kartendienstleister bei der Ertragspotenzialkartenerstellung Satellitenbilder und Ertragskarten aus demselben Jahr aufgenommen, teilweise auch nur die Satellitendaten aus dem einen bzw. Ertragskarten aus dem anderen Jahr. Welche Auswirkungen das für das Kartenergebnis und für die Düngung hat, ist offen. Standard ist, die Daten der kompletten Schlagfläche in die Verrechnung einzubeziehen. Jede 36 m-Rasterzelle enthielt einen eigenen relativen Ertragspotenzialwert (Abb. 65). Für die Düngungsumsetzung wurden in einem zweiten Schritt aus der Gesamtflächenkarte die Vorgewendedaten gelöscht.

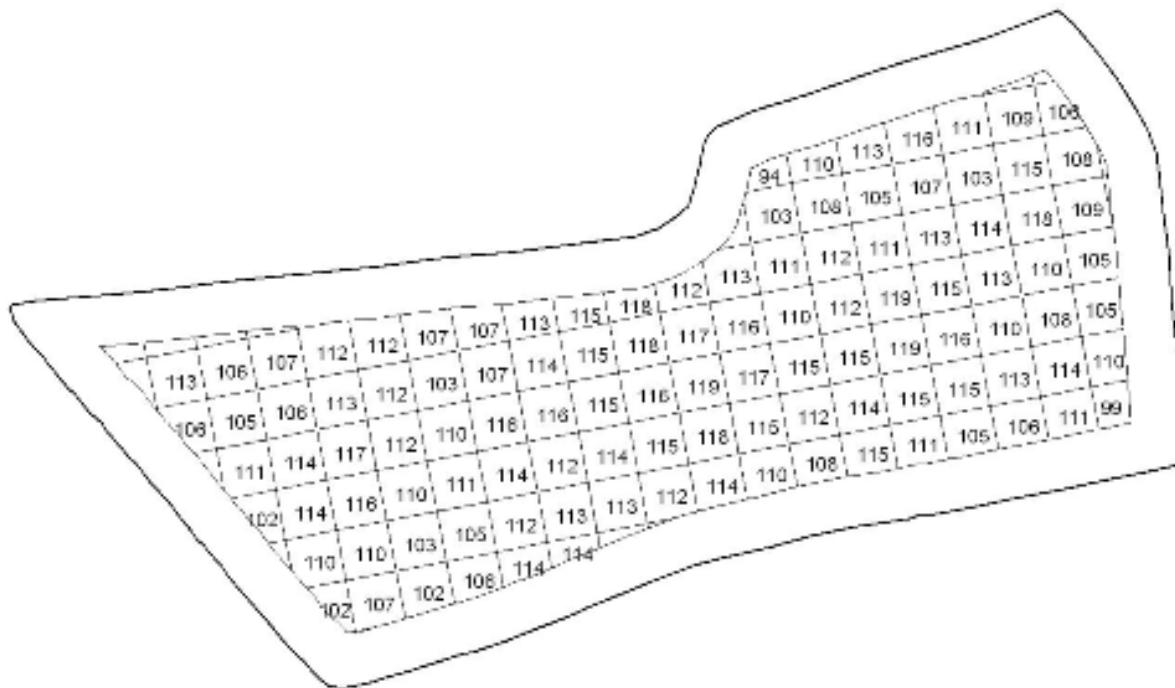


Abb. 65: Seit 2014 wird im OFR-Projekt die Ertragspotenzialkarte ohne Vorgewende mit einem Ertragspotenzialwert je 36 m-Rasterzelle sowie mit Fahrgassenausrichtung genutzt.

Die Weiterentwicklung der Karten von einer reinen Klassenkarte zu Erprobungsbeginn hin zu Karten mit realen relativen Ertragspotenzialen je Teilfläche war im Hinblick auf optimale N-Düngung auf Kartenbasis erfolgt. Die verschiedenen Fragen zur Optimierung der Ertragspotenzialkarten und der Stickstoffdüngung insgesamt wurden mit dem Sensorhersteller und dem Ertragspotenzialkartendienstleister diskutiert und dessen Anpassungsprozess von ihnen mitbegleitet.

## Streukarten beim Raps

Ein Standardverfahren zur Berechnung der teilflächenspezifischen N-Düngung nach Streukarte gab es anfangs nicht. Für die Erstellung von Streukarten wurde ein pragmatisches Vorgehen gewählt. Die Düngung nach Ertragspotenzial und Herbst-N-Aufnahme folgte den Ansätzen, dass unterschiedliche Ertragsbereiche entsprechend ihres Ertragspotenzials mit Stickstoff ausgedüngt werden sollen und das bei für das Ertragspotenzial überdurchschnittlicher N-Aufnahme Stickstoff eingespart werden kann bzw. bei unterdurchschnittlicher N-Aufnahme zusätzlicher Stickstoff gedüngt werden soll.

Mit der teilflächenspezifischen N-Düngung nach Herbstscan wird das Sensorsystem zum Termin N1 nicht wie bei Online oder Online mit Map Overlay durch Raureif oder Tau ausgebremst. Ein teilflächenspezifisches Streuen und eine termin- und bodengerechte Stickstoffapplikation ohne verfahrensbedingte Einflüsse auf die Arbeitserledigung in der Düngung sind dadurch möglich. Möglicherweise entstehen jedoch Kosten im Zusammenhang mit der Streukartenerstellung, die das System noch einmal zusätzlich verteuern würden.

Die teilflächenspezifischen Streukarten für die Stickstoffdüngung im Raps bauten auf einer korrigierten Sollwertberechnung auf. Es ging die aktuelle Ertragspotenzialkarte des Jahres sowie die Bestandsdaten vom Herbstscan ein. Über den mittleren Kornertrag sowie die anzusetzenden standardmäßigen Zu- und Abschlägen wurde die korrigierte N-Sollwertmenge für die schlageinheitliche Stickstoffdüngung berechnet. In einem weiteren Schritt wurden die unterschiedlichen Ertragspotenziale der Schlagteilflächen berücksichtigt. Das Ertragspotenzial differiert im Beispiel zwischen 94 und 120 % Ertragspotenzial (Abb. 66). Abschließend wurden die N-Mengen nach Herbst-N-Aufnahme korrigiert.

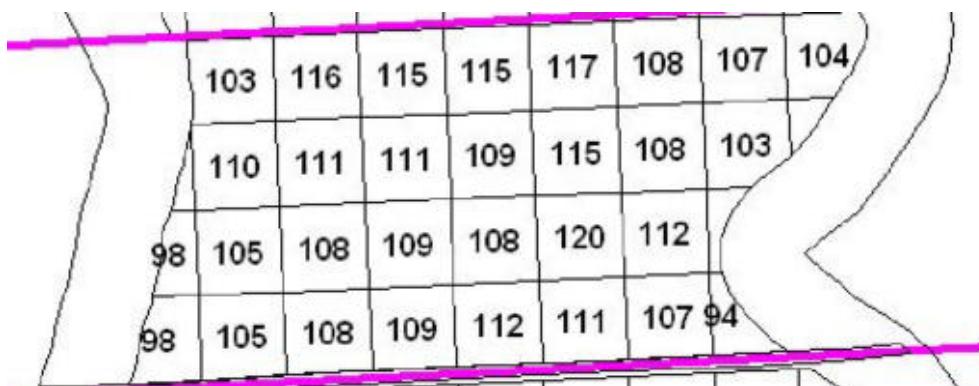


Abb. 66: Hainkamp – Ertragspotenzialkarte ohne Vorgewende 2015 (Ausschnitt), Ertragspotenzialwert pro 36 m-Rasterzelle in Prozent.

Für die Abstufung der N-Mengen aus der Ertragspotenzialkarte lag noch kein Standard vor. Der Vorschlag seitens des Sensorherstellers war, pro 1 dt/ha Ertragsveränderung die Stickstoffmenge um 1 kg N/ha zu verändern. Unterdurchschnittliche Ertragspotenziale erhielten darüber hinaus Abschläge und überdurchschnittliche Ertragspotenziale Zuschläge auf die mittlere N-Menge des Schlages bei einheitlicher Düngung. Auf der Basis errechneten sich je 36 m-Rasterzelle folgende N-Zuschläge oder N-Abschläge in kg N/ha (Abb. 67) bzw. die teilflächenspezifischen N-Gesamt Mengen in kg N/ha (handschriftliche Notiz):

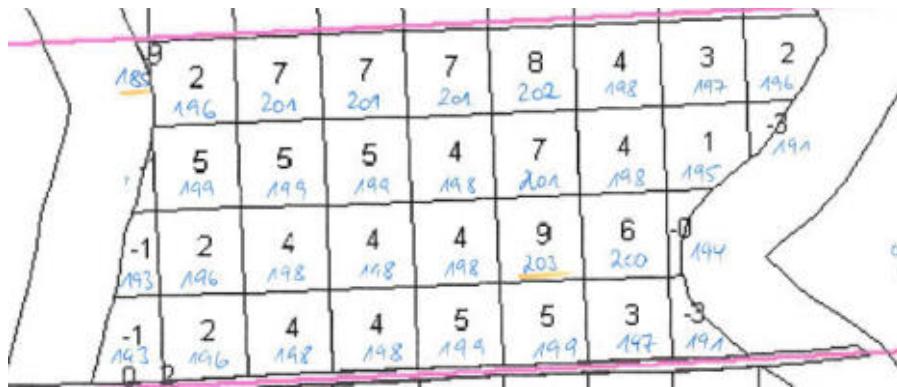


Abb. 67: Hainkamp – Ertragspotenzialkarte 2015 (Ausschnitt). Stickstoffzuschläge und -abschläge auf die grundlegenden 194 kg N/ha bei geringer Anpassungsmenge je dt-Ertragsveränderung.

Der N-Zuschlag fiel insgesamt gering aus. Das traf auch für die N-Differenzen zwischen den Rasterzellen zu. Beides folgte aus geringer Anpassungsmenge pro dt Körnertrag. Praktisch gehen die geringen N-Mengenunterschiede von Rasterzelle zu Rasterzelle wahrscheinlich durch das Ausregeln der Schleppergeschwindigkeitsänderungen vonseiten des Streuers verloren.

Auch deshalb wurde zusätzlich auf Basis der Richtwerte für die Düngung Schleswig-Holstein 2013 die N-Differenzierung aus der Ertragspotenzialkarte kalkuliert. Ertrag und N-Menge sind auch hier positiv korreliert. Mehrertrag braucht zusätzlich 4,54 kg N/dt Ertrag für die Bildung von Korn und Stroh. Zwischen den beiden Rasterzellen mit 94 % bzw. mit 120 % Ertragspotenzial ergaben sich 53 kg N-Unterschied. In der Abb. 68 sind die Zu- und Abschläge sowie die N-Gesamtmengen je Teilfläche aufgeführt:



Abb. 68: Hainkamp – Ertragspotenzialkarte 2015 (Ausschnitt), teilflächenspezifische Stickstoffanpassung (kg N/ha) anhand des Ertragspotenzials bei praxisüblicher Anpassungsmenge.

Aus der Sollwertberechnung hatte sich eine mittlere N-Menge des Schlages von 194 kg N/ha ergeben. Nach Abzug der geplanten konstanten N-Menge über SSA und AHL blieb eine mittlere N-Menge von 119 kg N/ha über Harnstoff übrig. Für die Streukarte wurde zu dieser Menge der je 36 m-Rasterzelle berechnete Zu- oder Abschlag hinzugaddiert. Eine weitere N-Mengenumverteilung erfolgt über den Vegetationsindex bzw. später über die nach dem französischen Modell berechnete N-Aufnahme nach Sensormesswert. Daher wurden die Streukarten vom Sensorhersteller erstellt.

Für Praktiker, die sich die Dienstleitung Streukartenerstellung einkaufen, empfiehlt es sich, das Zustandekommen von Streukarten und deren teilflächenspezifischen N-Mengen vor der Anwendung auf Plausibilität zu prüfen. Jede Herangehensweise kann das Streukartenergebnis, das Streuergebnis und das Ernteergebnis unterschiedlich beeinflussen und den Erfolg oder Misserfolg eines Düngesystems ausmachen. Ob der Streukartenansatz auch bei Nachvollziehbarkeit der teilflächenspezifischen N-Mengen der richtige war, zeigt sich erst in einem mehrjährigen Praxisvergleich von verschiedenen Varianten. Das geht von der praktischen Anwendung über die Erfassung der ausgebrachten Stickstoffmengen, der Erträge, der Qualitäten und der Wirtschaftlichkeit.

## Absolute Düngung ist relativ

Im Weizen steht ein absolutes Düngesystem zur Verfügung. Dieses ermittelt zum Termin selbstständig die zu düngende N-Menge je Teilfläche. In allen Jahren erreichten die Winterweizenbestände im OFR-Projekt Helmstorf zu N2 nicht die vom Isaria-System erwartete optimale Bestandsentwicklung (Abb. 69), obwohl der Weizen jeweils für Schleswig-Holstein jahrestypisch entwickelt war.

Aufgefallen ist in der Mehrzahl der Jahre und Schläge eine vergleichsweise hohe empfohlene N-Menge zu N2. Das hat nach bisherigen Erkenntnissen verschiedene Ursachen. Einerseits erhalten weniger üppige bzw. suboptimal entwickelte Bestände zur Förderung des Ertragsaufbaus zusätzliche Stickstoffmengen.

Außerdem haben die verwendeten Ertragspotenzialkarten im Flächenkern ein überdurchschnittliches Ertragspotenzial, welches höhere N-Mengen zusätzlich aus dem Map-Overlay-Part nach sich zieht. Darüber hinaus kann kein System vorhandene Stickstoff-Bodenreserven quantifizieren. Selbst wenn der Nährstoffbedarf des Bestands richtig eingeschätzt wird, fehlen Informationen über die genauen Bodenreserven. Das System kann daher den Düngebedarf nicht richtig bestimmen.



Abb. 69: Die teilflächenspezifische Bestandsentwicklung wird im Isaria-System über den Vegetationsindex IRMI beschrieben und beispielsweise bei einem IRMI von 20,6 zu N2 in EC 30 als gering eingestuft. Die Stickstoffmenge dieser Teilfläche wird entsprechend angepasst.

Auch für den Anwender der Technik ist das Einschätzen von N-Bodenreserven schwierig bis unmöglich. Der Sensorhersteller empfiehlt deshalb, vor dem Streuen in N2 einen Testscan zur Bestimmung der Stickstoffhöhe durchzuführen und über die Korrekturfunktion am Terminal eine Anpassung der Stickstoffmenge vorzunehmen. Das bedeutet allerdings eine Abkehr vom absoluten Düngesystem bzw. dessen eigenständiger N-Mengenfindung zum Termin.

Der Anwender erhält keine verbindliche Information, wie hoch eine N-Gabe, beeinflusst von unterdurchschnittlichen Beständen und hohen Ertragspotenzialen im Flächenkern, ausfallen soll. Damit fehlt ihm die Basis, um ableiten zu können, ob und welcher Korrekturbedarf besteht. Es ist nicht abzuschätzen, ob er durch Fehleinschätzung beim Korrekturbedarf Erfolgspotenzial des Sensorsystems verschenkt. Auf jeden Fall ist zusätzlicher Arbeitsaufwand für etwaige Testscans zur Bestimmung der Korrekturmenge nötig (s. Tab. 42, S. 134). Der Praktiker braucht für eine zielgerichtete Anwendung vom Sensorhersteller verbindliche Orientierungshilfen.

Zu N3 waren dagegen häufig relativ niedrige N-Mengen vom absoluten System empfohlen, bei Teilstücken mit guter Versorgung anteilig auch keine N-Düngung. Ob die geringen Abschlussmengen zu N3 im Einzeljahr und im Durchschnitt der Jahre im Kornertrag und/oder Rohproteingehalt wirtschaftliche Unterschiede bewirken, kann der Anwender eines Sensors ohne direkten Vergleich nicht nachvollziehen. Möglicherweise hätte ein Korrekturbedarf bestanden und die Abschlussmengen wären höher anzusetzen gewesen. Der Anwender kann auch nicht nachvollziehen, ob hohe N2-Mengen vor- oder nachteilig oder unerheblich zur Erreichung der angestrebten Ziele sind. Um darüber Aussagen treffen zu können, braucht es den unmittelbaren mehrjährigen Vergleich unterschiedlicher Düngungsstrategien.

## Korrektur

Die Möglichkeit konstante N-Mengen in der Düngung mit dem absoluten System sowie mit dem 1-Punkt-Modus durch Zu- oder Abschläge zu berücksichtigen, ermöglichen es dem Praktiker, vom Sensor empfohlene N-Mengen anzupassen. Beispielsweise können noch nicht aufgenommene oder noch folgende Teilgaben aus Pflanzenschutzmaßnahmen berücksichtigt werden.

## Kalibrierung des 1-Punkt-Modus

Zur Kalibrierung des 1-Punkt-Modus soll der Bestand einer Teilfläche mit 100 % Ertragspotenzial gescannt werden. 100 % stehen dabei für durchschnittliche Ertragsbildungsbedingungen. Praktisch ist das aber kaum umsetzbar. Teilflächen mit 100 % Ertragspotenzial sind selten (Abb. 70). Kommen Sie in der Kernfläche vor, deutet dieses eher auf unterdurchschnittliche Bedingungen für die Ertragsbildung hin. Die typische Teilfläche im Flächenkern hat ein Ertragspotenzial von über 100 %. Testscans sollten außerdem außerhalb des Vorgewendebereichs laufen. Nach verschiedenen Diskussionen mit dem Sensorhersteller wurde daher das Scannen einer ganzen Fahrgassenlänge im Flächenkern zur Ermittlung eines durchschnittlichen IRMIs (Vegetationsindex) für die Kalibrierung des 1-Punkt-Modus empfohlen.

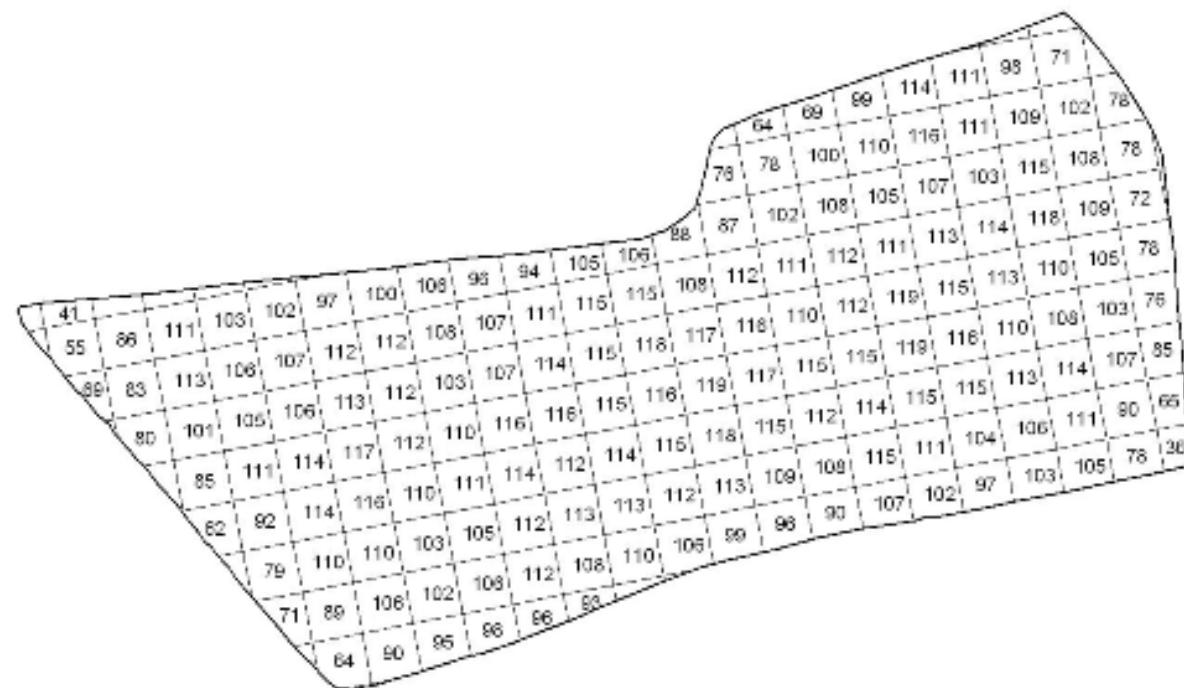


Abb. 70: Kortenkamp – Ertragspotenzialkarte 2014. Sensorkalibrierung läuft über eine komplette Fahrgassenlänge.

## Weiteres

Die Sensorkopfhöhe hat einen Einfluss auf den Vegetationsindex (s. Tab. 42, S. 134). Die empfohlenen Abstände zwischen Sensorköpfen und Bestandoberkante sollen so gut wie möglich an geeigneter Stelle eingestellt und eingehalten werden. Eine Überprüfung des Abstands mittels Zollstock ist empfehlenswert. In den Weizenbeständen traten je nach Jahr Aufhellungen durch den Einsatz vom Herbizid Atlantis auf. Ob die Aufhellungen einen Einfluss auf die Höhe des Vegetationsindex und die applizierten N-Mengen haben, ist derzeit unbeantwortet.

Im Betrieb ist die teilflächenspezifische Aussaat etabliert. Damit ist eine frühe Bestandshomogenisierung gegeben und der N-Regelbedarf ist vermindert.

Grundsätzlich ist weiterhin offen, was bspw. auf hohertragreichen Teilflächen mit der zusätzlichen N-Menge aus der Ertragspotenzialkarte passiert. Diese Bereiche verfügen über günstigere natürliche

Ertragsbildungsbedingungen als andere Teilflächen, und zwar unabhängig von dem Düngesystem. Ob und wie sich die natürlichen Vorteile zusätzlich auf die Rohproteinbildung bei Weizen auswirken, lässt sich vielleicht über den Einsatz eines Mähdreschers mit Ertrags- und Rohproteinerfassung und anschließender Datenanalyse bestimmen.

Ein Ausdünnen von Hochertragsbereichen auf Basis der Ertragspotenzialkarten im Online mit Map-Overlay-Verfahren ist dann erfolgversprechend, wenn entweder der natürliche Hochertrag zusätzlich gesteigert oder der natürlich mögliche Rohprotein gehalt beim Weizen zusätzlich in Form eines Qualitätspreises für das Erzeugnis verbessert werden kann.

- Absolute Düngung ist doch auch relativ.
- Auf geeignete Sensorkopfhöhe achten.
- Kalibrierung für den 1 Punkt-Modus entlang einer ganzen Fahrgasse durchführen.

#### 6.5.4.4.3. Ertragspotenzialkarten

Ertragspotenzialkarten sind das neue bzw. zusätzliche Element für die Ableitung der optimalen teilstückspezifischen Stickstoffmengen durch das neue Sensorsystem Online plus Map Overlay, das eine Weiterentwicklung gegenüber dem reinen Online-System darstellt.

##### Datenquellen und Parameter

Bei den Ertragspotenzialkarten gibt es viele Möglichkeiten, sie zu erstellen. Jeder Dienstleister hat seine eigenen Überlegungen, welche Informationsgrundlagen herangezogen werden und wie sie mit einander zu verrechnen sind. Als Informationsquellen werden EM38-Karte (scheinbare Leitfähigkeit), Reichsbodenschätzung, Bodenartenkarte, Einzelgrundnährstoffkarten, Digitales Geländemodell, Luftbildaufnahmen, Biomassekarten (Sensor), Satellitenbilder, Ertragskarten und/oder weitere diskutiert (Abb. 71). Im Gespräch ist auch, unterschiedliche Parameter mit unterschiedlicher Gewichtung in die Kartenberechnung eingehen zu lassen. Durch die vielfältigen Möglichkeiten sind auch unterschiedliche Kartenergebnisse für einen Schlag von unterschiedlichen Anbietern möglich.

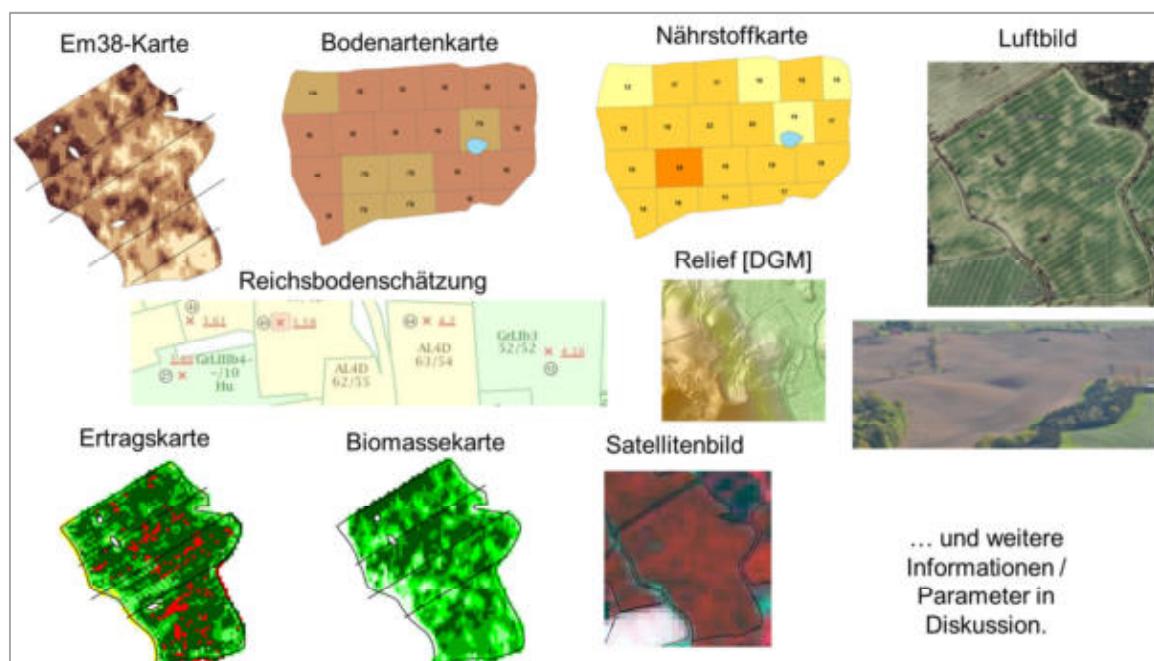


Abb. 71: Einen Standard für die Ertragspotenzialkartenerstellung gibt es bisher nicht. Die aufgeführten Parameter werden hinsichtlich der Einbeziehung in die Ertragspotenzialkartenerstellung diskutiert.

Abb. 72 zeigt die Informationsquellen Satelliten-Zonenkarte, Relativvertragskarte vom Mähdrescher sowie EM38-Karte, die beispielsweise in die Erstellung einer Zonenkarte oder Ertragspotenzialkarte eingehen können. Je nach Auswahl der Informationsquellen ergeben sich unterschiedliche Zonen- bzw. Ertragspotenzialkarten für die Stickstoffdüngung. Im ersten Fall (oben rechts) sind alle drei Parameter und im zweiten Fall (unten rechts) sind nur die Satelliten-Zonenkarte und die EM38-Karte miteinander verrechnet. Satellitendaten und EM38-Daten korrelieren zwar relativ schwach miteinander, alle anderen Kombinationen sind jedoch noch schwächer in ihren zonalen Übereinstimmungen. Beim Vergleich der beiden berechneten Kartenversion und ihrer Teilflächen bzw. der jeweiligen Kreismarkierung wird deutlich, wie unterschiedlich stark die jeweiligen Ertragszonen in der einen bzw. anderen Karte vertreten sind. Die N-Düngung würde deshalb in ihrer Mengenverteilung sehr unterschiedlich ausfallen. Tab. 35, S. 121 bietet eine Orientierung wie hoch die Stickstoffmengenunterschiede zwischen den Klassen sein können. Jeder berechnete Kartenansatz hat entsprechende Folgen für Kornertrag, Qualität des Ernteproduktes, N-Bilanzüberschuss und Wirtschaftlichkeit des Sensorsystems.

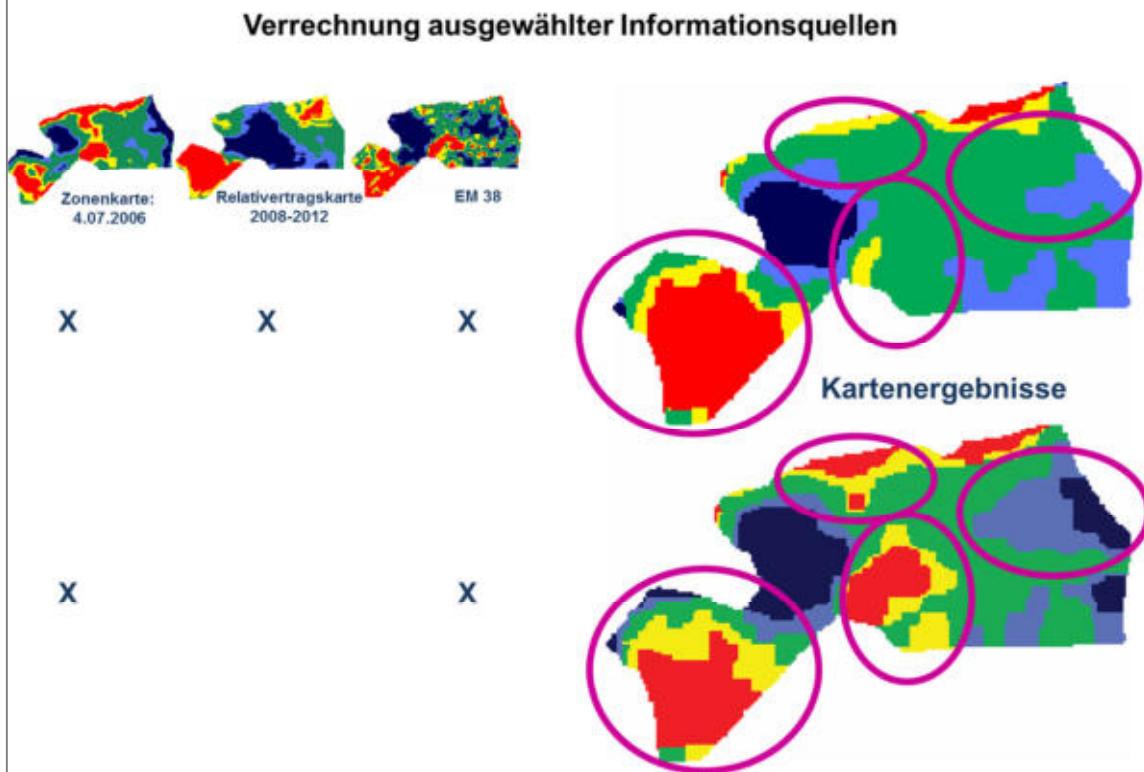


Abb. 72: Die Auswahl der Datenquellen beeinflusst das Düngungsergebnis von Zonen- bzw. Ertragspotenzialkarten

In der Satellitenzonenkarte vom 4.07.2006 fällt entlang der Schlaggrenze im Norden das durchgängig hohe Ertragspotenzial (rote Zone) auf. Hochertrag auf Kopfvorgewenden oder auf Flächenflanken ist für Schläge in Schleswig-Holstein untypisch. An der nördlichen Schlaggrenze stehen alte Eichen, die im Juli vollbelaubt sind. Die Satellitenbilder unterscheiden hier nicht, ob die Pflanzenmasse von Bäumen oder von Kulturbeständen herrührt. Die ungeprüfte Übernahme von Daten allgemein führt zu falscher Stickstoffdüngung.

#### Rasterkarte statt Zonenkarte

Nicht nur die Auswahl geeigneter Parameter, sondern auch die technische Umsetzbarkeit von Ertragspotenzialkarten in der Düngung, sowie pflanzenbauliche Folgen aus Kartenkonzepten sind bei der Entwicklung von Ertragspotenzialkarten zu berücksichtigen. Ertragspotenzialkarten und Karten mit anderer Bezeichnung, aber gleichem Verwendungszweck, enthalten auch kleinräumige Ertragsstrukturen. Der Nachteil kleinräumiger Ertragsstrukturen ist, dass sie Düngungsabschnitte wesentlich beeinflussen

können, ohne repräsentativ dafür zu sein. Liegt in der Fahrgasse bzw. im GNSS-Antennenbereich die Karteninformation für Niedrigertrag vor, löst das ein niedriges Düngungsniveau aus, auch wenn rechts und links der Fahrgasse ein mittleres Ertragsniveau ausgewiesen ist und den weit größeren Flächenanteil unter dem Düngerstreuer ausmacht. Für den größeren Abschnitt läuft die Düngung nicht zielgerichtet, weil die Karteninformation im GNSS-Antennenbereich nicht die vorwiegenden Ertragsverhältnisse widerspiegelt. Auch Kleinflächenstrukturen, die nur eine kurze Wegstrecke auf der Fahrgasse ausmachen, setzen Düngungsimpulse. Je langsamer die Regel- und Verteiltechnik des Streuers und je schneller die Fahrgeschwindigkeit, desto weniger wird die Kleinstruktur und die geplante Menge getroffen, beziehungsweise betrifft es auch den angrenzenden Part der anschließenden Teilfläche. In der Düngungspraxis nach Karte führen nicht nur kleinräumige Ertragsstrukturen zu unplanmäßigen Düngungsergebnissen. Verläuft die Grenze zwischen zwei Ertragszonen über eine Strecke mal etwas links, mal nahezu mittig und mal etwas rechts der Fahrgasse, wechselt entsprechend der GNSS-Antennenposition in der jeweiligen Ertragszone auf der Karte auch die Dünge menge (Abb. 73). So würden jeweils gut 50 % der Arbeitsbreite analog zur Kartenmenge bedient werden und die restlichen knappen 50 % der Arbeitsbreite mit der N-Menge von ihrem Ertragspotenzial abweichen.

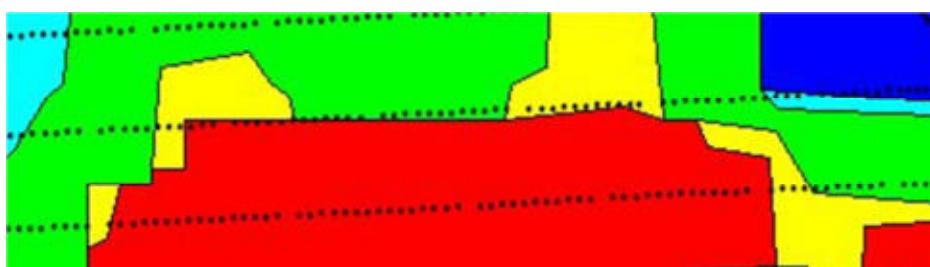


Abb. 73: Streuersysteme können auf unterschiedliche Ertragspotenziale links und rechts der Fahrgasse mengenmäßig nicht reagieren. Das Potenzial einer angepassten Düngung wird hier technisch bedingt verschenkt bzw. nicht realisiert.

Das Teilflächen-Ertragspotenzial nimmt über die Farben Dunkelblau, Hellblau, Grün, Gelb und Rot zu. Grün kennzeichnet das mittlere Ertragsniveau des Schläges von 100 %. Die Fahrgassen im 36 m Abstand werden durch die GNSS-Antennensignalpunkte deutlich gemacht. Durch die GNSS-Antennenposition auf der Karte wird entsprechend des vorliegenden Ertragspotenzials die Dünge menge vorgegeben. Das Ertragspotenzial aus der punktuellen Kartenposition repräsentiert jedoch nicht immer die Ertragspotenzialbereiche unter der gesamten Streuer-Arbeitsbreite. Die Teilbreiten der Streuer können jedoch nicht mit unterschiedlichen Mengen gefahren werden. Der natürliche räumliche Ertragspotenzial-Teilflächenverlauf stimmt nicht immer mit den Möglichkeiten der Ausbringungstechnik überein. Deshalb lassen sich die über eine Arbeitsbreite unterschiedlich verteilten Ertragspotenziale technisch bedingt nicht sauber ausdüngen. Das wird erst mit Weiterentwicklung der entsprechenden Streutechnik möglich sein.

## Raster ausgerichtet      Rastermitte auf Fahrgassenmitte, feste Fahrgassen

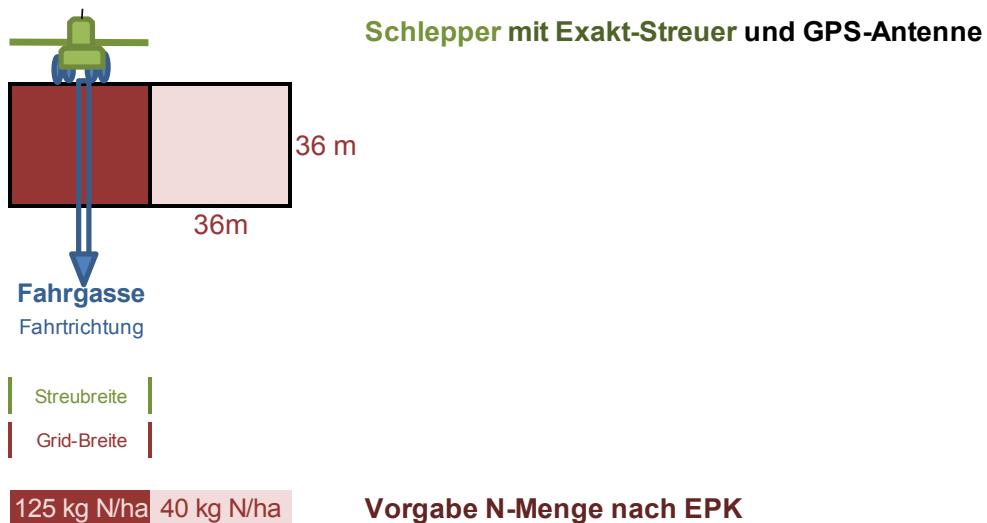


Abb. 74: Ausrichtung der Ertragspotenzialkarten

Technisch ausgedüngt werden kann nur das auf die Arbeitsbreite eines Exaktstreuers ermittelte Ertragspotenzial. Die Rastergröße der Ertragspotenzialkarte ist dafür auf die Düngerstreuer-Arbeitsbreite abzustimmen und die Rasterzellenmitte auf der Fahrgassenmitte zu positionieren (Abb. 74). Damit ergibt sich automatisch die erforderliche Ausrichtung des Kartenrasters an die Fahrgasse. Es braucht für eine zielgerichtete Düngung eine Abkehr von der standardmäßigen Nord-Süd-Ausrichtung der Kartenraster. Einschließlich fester Fahrgassenpositionen sind das alles Voraussetzungen, um das berechnete Ertragspotenzial einer Exaktstreuer-Arbeitsbreite bzw. einer Rasterzelle technisch möglichst exakt in der Düngung umsetzen zu können.

### Ertragsklassen oder Ertragspotenzialwert je Rasterzelle

Soll im Ertragspotenzialkartenbereich mit Ertragsklassen gearbeitet werden, braucht der Praktiker konkrete Hinweise, wie mit den Ertragsklassen düngungsseitig umzugehen ist. Entweder ist ein Ertragspotenzialwert je Klasse auszuweisen, an dem die Stickstoffdüngung orientiert werden kann. Oder es braucht konkrete auf das Ertragsniveau des Standortes abgestimmte N-Differenzmengen (Zu-/Abschläge) für ein Fruchtfolgeglied zwischen den Klassen. Eine Abstufung der Klassen in niedrig, mittel und hoch plus die jeweiligen Zwischenstufen bietet keine ausreichende Orientierung, wie hinsichtlich der N-Menge in den Klassen verfahren werden soll. Hochertrag kann beispielsweise 150 %, 135 % oder 102,5 % bedeuten. Bei einem mittleren Kornertag von 45 dt/ha Winterraps ergibt sich nach den Richtwerten für die Düngung der Reihe für den jeweiligen relativen Hochertrag ein Stickstoffbedarf/-Sollwert von 306 kg N/ha, 275 kg N/ha oder 209 kg N/ha.

Im Zusammenhang mit den Ertragsklassen weist der Isaria-Sensorhersteller auf Nachfrage darauf hin, dass die Mengenabstufungen zwischen den Klassen auf eine bestimmte Menge zu begrenzen sind. Die N-Abstufung in Tab. 35 von knapp 30 kg N/ha wird vom Sensorhersteller als zu hoch erachtet. Eine allgemeingültige Empfehlung, mit welcher N-Abstufung zu arbeiten ist, fehlt bisher. Das Sensor-Unternehmen überprüft, ob kulturartenspezifische z. B. rapsspezifische maximale N-Abstufungen für eine zielgerichtete Stickstoffdüngung erforderlich sind. Auf sehr heterogenen Projektschlägen schwankt das Ertragspotenzial sogar zwischen 50 % und 150 %. Die N-Abstufung zwischen den Klassen auf Basis der empfohlenen Klassenanzahl würde noch höher als in der genannten Tabelle ausfallen. Die ursprüngliche Empfehlung, mit Ertragsklassen zu arbeiten, wurde überdacht. Die Düngung aus der Karte wurde aufgrund der Gesamterfordernisse auf einen konkreten Ertragswert je Rasterzellen umgestellt. Damit wird die N-Düngung zielgerichteter bzw. teilflächenspezifischer als über die Ertragsklassen.

Tab. 35: Übelsberg – Ertragsklassen der Ertragspotenzialkarte 2014 sowie N-Abstufung bei StWW

Class	Count rel. **	Ertragserwartung in %			Kornertrag- Center pro Klasse (dt/ha)	N- Sollwert (kg/ha) *	Differenz zur nächsten Klasse		
		Min	Center	Max			Center (%- Punkte)	Kornertrag (dt/ha)	N- Menge (kg/ha)
1	10	65	72	79	65,6	145			
2	10	79	86	93	78,3	173	13,9	12,7	28,0
3	24	93	100	107	91,0	201	13,9	12,7	28,0
4	50	107	114	121	103,7	229	13,9	12,7	28,0
5	6	121	128	135	116,4	257	13,9	12,7	28,0
Summe	100	arithmetisches Mittel			91,0	201	$\Sigma$	55,8	50,8
		geometrisches Mittel			95,1	210			112,2

\* StWW: 91 dt/ha, 86 % TS, 12 % RP i. d. TS, RiW DG SH13

\*\* n = 347, 36m x 36m Raster mit Fahrgassenausrichtung

Bei Verwendung von Ertragskarten als ein Parameter bei der Ertragspotenzialkartenerstellung liegen konkrete Ertragszahlen vor. Diese geben zueinander ins Verhältnis gesetzt die Ertragsrelationen in Form von Werten auf einem Schlag wieder. Bei Verwendung von Informationsquellen wie beispielsweise Satellitenbildern wird jeweils deren entsprechende Parameterrelation berechnet. Die Düngung nach Karte nimmt dann an, dass Parameter und Ertrag positiv korreliert sind und ein Prozent Parameterveränderung mit einem Prozent Ertragsveränderung einhergeht. Offen ist, ob die Ertragsbildung wirklich entsprechend der Parameterrelation erfolgt und damit die Annahme stimmt.

### Vorgewende

Als Vorgewende sind im OFR-Projekt die äußeren 36 m rund um den gesamten Schlag definiert. Im Vorgewende beeinflussen im Vergleich zur Kernfläche zusätzliche Faktoren die Ertragsbildung. Verdichtungen durch das Wenden von Maschinen, erhöhter Fahrgassenanteil, Knickschatten und abflachende Düngerkurve sind nur einige davon. In Summe bzw. im Durchschnitt erreicht das Vorgewende nicht das Ertragsniveau der Kernfläche. Nach Wiegebuchauswertungen hat es in etwa einen um 15 – 20 % geringeren Ertrag als der Flächenkern.

Das bedeutet bei einer Stickstoffdüngung nach Ertragspotenzialkarte im Mittel eine Reduktion der N-Menge im Vorgewebereich (Abb. 70, S. 116). Je nach Vorgewendeteilfläche variiert das unterschiedlich stark. Ob eine Senkung des Stickstoffniveaus auf dem Vorgewende entsprechend seines geringeren Ertragsniveaus, ohne Risiko für den Ertrag, die Ertragssicherheit und die Qualität möglich ist, ist wissenschaftlich nicht geklärt. Zu bedenken ist beispielsweise, dass dort wo ein erhöhter Fahrspuranteil vorliegt, der Anteil bewachsener Fläche geringer ist. Der wachsende Bestand kann über ein mittleres bis gutes Ertragspotenzial verfügen und benötigt ein entsprechendes Düngungsniveau. Da der unbewachsene Flächenanteil aber relativ hoch ist, sinkt hier der Flächenertrag, der sich auf die bewachsene und unbewachsene Gesamtfläche bezieht. Wird nach dem gemittelten Ertragswert gedüngt, erhält der Bestand mit mittleren bis gutem Ertragspotenzial auf der bewachsenen Fläche eine unterdurchschnittliche N-Menge.

Im Projektbetrieb macht das Vorgewende einen erheblichen Anteil an der Gesamtfläche aus. Beim aktuellen 36 m Fahrgassensystem hat das Vorgewende einen Flächenanteil von ca. 38 %. Er fällt je nach Schlag unterschiedlich hoch aus. Die Schlaggrößen variieren zwischen 3 und 50 ha. Im Mittel liegt sie bei 17 ha. Der Vorgewendeanteil hängt im Wesentlichen von der Schlaggröße ab. Je kleiner der Schlag ist, umso größer ist sein Vorgewendeanteil. Anteilig ist auch die Schlagform entscheidend. Beim Schlag mit

dem größten Anteil macht das Vorgewende 97 % der Gesamtfläche aus. Beim Schlag mit dem geringsten Vorgewendeanteil nimmt es 25 % der Gesamtfläche ein.

Mit dem Sensorhersteller sowie dem Kartendienstleister wurde über die Senkung der Stickstoffmenge, um im Mittel 15 bis 20 % bzw. auf einzelnen Rasterzellen des Vorgewendes um 50 % und mehr gesprochen (Abb. 70, S. 116). Das wirtschaftliche Risiko einer Umsetzung der Ertragspotenzialkarte im Vorgewebereich mit 380 ha von insgesamt 1.000 ha Ackerbaufläche wurde als hoch eingestuft. Der Sensorhersteller empfahl das Vorgewende ohne Ertragspotenzialkarte zu düngen. Insgesamt würde so das Map-Overlay-Verfahren nur auf 62 % der Betriebsfläche zum Einsatz kommen. D. h. 100 % der jährlichen Sensor- und Kartenkosten müssen auf 62 % der Fläche erwirtschaftet werden. Das kann durch Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit aufgrund von Ertrag, Qualität und/oder Stickstoffmenge im Flächenkern erfolgen. Eine reine Onlineanwendung im Vorgewende wurde nicht weiterverfolgt, denn das reine Onlinesystem hatte sich in der ersten Projekthälfte als nicht vorteilhaft herausgestellt.

Der Gesamtschlag erhält normalerweise per Karte eine ausbalancierte Stickstoffmenge. Mehr Stickstoff im ertragreichen Flächenkern gleicht sich bei Gesamtschlagkarten bzw. -umsetzung durch weniger Stickstoff im ertragsschwachen Vorgewende aus. Auf den Projektflächen erhält die Kernfläche nach Karte mehr Stickstoff. Der Ausgleich über geringere Vorgewendemengen fehlt jedoch, denn die Ertragspotenzialkarte findet hier keine Anwendung und es werden betriebsübliche Mengen gestreut. Die Gesamtstickstoffmenge pro Schlag und ha erhöht sich dadurch. Dieses sollte beim Praxiseinsatz bei betriebswirtschaftlichen sowie bei der Gesamtkalkulation der N-Bilanzüberschüsse berücksichtigt werden. Insgesamt folgt dieser Ansatz dem Map-Overlay-Ansatz. Teilflächen mit höherem Ertragspotenzial erhalten nach Ertragspotenzialkarte auch die höhere N-Menge.

Erst wenn das System mehr als die jährlichen Sensor-, Karten- und Stickstoffmehrkosten deckt oder die geforderten N-Salden erlös- und kostenseitig günstiger sicherstellt, entsteht für den Praktiker ein Vorteil durch den Einsatz des Sensorsystems. Ob für das Online mit Map-Overlay-Verfahren im Vorgewebereich noch wirtschaftliches und nährstoffseitiges Potenzial steckt, wäre durch entsprechende unabhängige Versuche zu klären. Je größer die Arbeitsbreite und je kleiner die Schlagstruktur, umso höher fällt der Vorgewendeanteil aus und umso höher sind die Anforderung an den Flächenkern für eine erfolgreiche teilflächenspezifische Stickstoffdüngung.

Um negative pflanzenbauliche und wirtschaftliche Folgen durch Anwendung ungeprüfter Theorien auf solch besonderen Flächenteilen zu vermeiden, wurden die Ertragspotenzialkarten für den Gesamtschlag berechnet und die Vorgewendedaten anschließend gelöscht. Die Ertragspotenzialkartenversion nennt sich „Gesamtschlag ohne Vorgewende“ oder EPK ohne Vorgewende. Die an das Vorgewende grenzenden Teilrasterzellen des Flächenkerns erhielten dadurch das Löschen der Vorgewendedaten meist ein neues und meist ein höheres Ertragspotenzial. Je nach Schlagzuschnitt ist ihr Anteil größer oder kleiner bzw. variiert zusätzlich die Teilrasterzellengröße. Das so neu berechnete Ertragspotenzial konnte dann entsprechend ausgedüngt werden.

Insgesamt haben die genannten einzelnen Aspekte zu den im Kapitel 6.5.4.4.2 und dem Abschnitt 'Ertragspotenzialkarten im OFR-Projekt' beschriebenen Ertragspotenzialkarten und dessen praktischer Anwendung geführt.

- Kartengrundlage sowie Kartenergebnis auf Plausibilität prüfen.
- Für eine zielgerichtete Stickstoffapplikation ist ein allgemeiner Ertragskartenstandard erforderlich.
- Neue Konzepte für die Düngung des Vorgewendes notwendig.

#### 6.5.4.4.4. Ertragsstabilität

Beim Einstieg in die Erprobung des neuen Sensor-Systems wies der Isaria-Sensorhersteller auf die Kartenstabilität als Erfolgsfaktor das System hin. Der Begriff war anfangs auch vom Kartendienstleister AGRO-SAT nicht näher definiert und es war offen, ob Ertragspotenzialkarten grundsätzlich stabil werden und welche Parameter sowie wie viele Datenjahre erforderlich sind, um eine Stabilität sicher abbilden zu können.

Für eine erste Stabilitätsprüfung wurden im OFR-Projekt die jeweils aktuellen Ertragspotenzialkarten zur Ernte 2014 und 2015 eines Schlags miteinander verglichen. Für beide Jahre lagen die Ertragspotenzialkarten ohne Vorgewende mit einem Relativvertrag je 36 m Rasterzelle und einer Fahrgassenausrichtung vor. Für den Übelsberg ergab sich eine mittlere Ertragspotenzialdifferenz von 19 Prozentpunkten. In 2015, dessen Potenzialkarte im Vergleich zur Vorjährigen zusätzlich die Erntedaten aus 2014 enthielt, sollten deshalb durchschnittlich 38 kg weniger Stickstoff je Hektar gedüngt werden als im Jahr zuvor (Abb. 75). Die Erntedatenrelationen erklärten diesen Unterschied zwischen den beiden Potenzialkartenjahren nicht. Nachfragen beim Karten-Dienstleister ergaben, dass für die Karten 2015 eine veränderte Berechnungsmethode angewendet wurde.

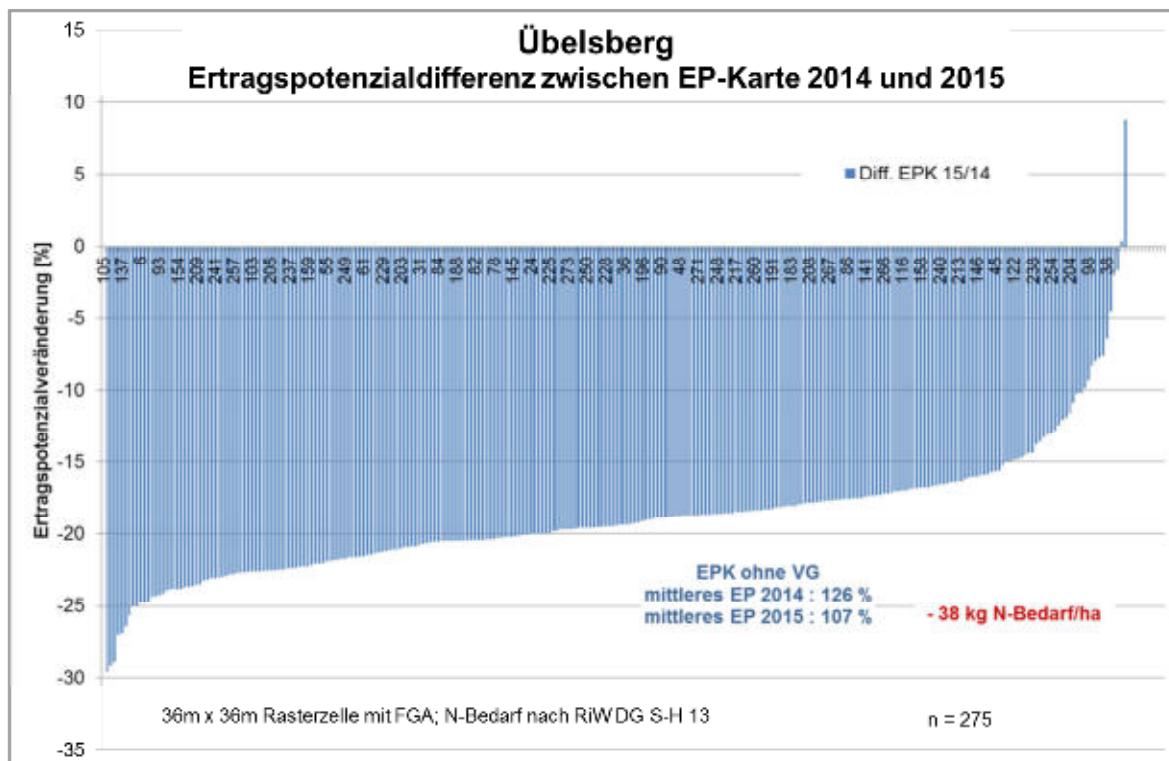


Abb. 75: Vieles im Bereich der Ertragsstabilität von Karten ist noch ungeklärt.

Einen allgemeinen Standard für die Ertragspotenzialkartenerstellung gibt es nicht. Dessen Entwicklung wäre aber erforderlich, um verlässliche Kartenergebnisse zu generieren. Dieses ist wiederum wichtig, um Ertragspotenzialkarten hinsichtlich Ertragsstabilität vergleichen zu können. Neben der Frage, ob es stabile Ertragszonen gibt, war auch ungeklärt, wie sich stabil definiert.

Aufgrund der weiter gewonnenen Erfahrungen des Karten-Dienstleister in verschiedenen Regionen Deutschlands hatte dieser für produktionstechnische teilflächenspezifische Maßnahmen im späteren Verlauf einen doppelten Kartensatz vorgeschlagen. Einen für nasse Jahre und einen für trockene Jahre. Die Ertragsbildung innerhalb eines Schlags läuft dem zur Folge je nach Jahr witterungsbedingt unterschiedlich ab. Aus Sicht des Kartendienstleisters macht das für die Düngung unterschiedliche Kartensätze erforderlich. Für den anwendenden Landwirt ergibt sich damit eine neue Herausforderung. Anhand welcher Kriterien und zu welchem Zeitpunkt entscheidet sich für ihn, ob die Ertragspotenzialkarte für das nasse oder das trockene Jahr eingesetzt werden muss. Wissenschaftliche Erkenntnisse als Entscheidungsgrundlage für den Anwender, wann zur Absicherung des Erfolgs vom Map-Overlay-Verfahren welcher Kartensatz einzusetzen ist, lagen bzw. liegen jedoch nicht vor. Grundlegend wäre vorweg für die Berechnung von zusätzlich wasserwirtschaftlichen Ertragspotenzialkarten zu klären, ob die einzelnen Erntejahre nur in nass oder trocken klassifiziert werden sollten oder ob es zusätzlich auch normale Erntejahre gibt und was die Voraussetzungen sind, um ein Jahr als nass, trocken oder durchschnittlich einordnen zu können.

Ertragsstabilität in Zusammenhang mit Map-Overlay umfasst allgemein auch den stabilen Relativvertrag einer Teilfläche. Ertragsstabil sind in dem Zusammenhang Teilflächen, die über einen längeren Zeitraum

gesehen, nur wenig im Relativvertrag schwanken. Daher war im Projekt ein weiterer Ansatz, um die die Stabilität selbst einzuschätzen, eine Maximum-Minimum-Differenz aus den Erntejahren mit dem höchsten und dem niedrigsten Relativvertrag einer Teilfläche zu bestimmen. Durch die Nutzung von Relativverträgen ist ein Vergleich von Ertragsdaten über Kulturarten hinweg möglich.

Die Ertragsstabilität ist für die Genauigkeit der ertragsbezogenen Stickstoffmengenkalkulation vom Sensorsystem bedeutend. Ein B-Winterweizen mit einer Maximum-Minimum-Differenz der Teilfläche von z. B. 20 % hat bei einem mittleren Weizertrag von 100 dt/ha knapp 20 dt/ha Ertragsdifferenz (Abb. 1, S. 18). Nach Richtwerten ergibt sich für die Teilfläche ein N-Sollwertunterschied zwischen dem Erntejahr mit dem höchsten und dem mit dem niedrigsten Relativvertrag von 44 kg N/ha.

Abb. 76 zeigt alle Teilflächen des Projektschlages „Dwerjahren“ und ihre Kombinationen aus Relativvertrag und Ertragsstabilität/-differenz. Jeder Punkt repräsentiert eine 12 m \* 12 m Teilfläche aus der Ertragserfassung des Mähdreschers. Der Berechnung liegt ein Zeitraum von sieben Erntejahren zugrunde. Von den insgesamt 2.566 Teilflächen haben 31 % eine Relativvertragsdifferenz von bis zu 20 %-Punkten und 69 % eine Maximum-Minimum-Differenz von über 20 %-Punkten. In Verbindung mit dem genannten Weizenbeispiel wird deutlich, wie genau bzw. ungenau die Bestimmung des Stickstoffoptimums für einen Schlag und seine Teilflächen wirklich sein kann.

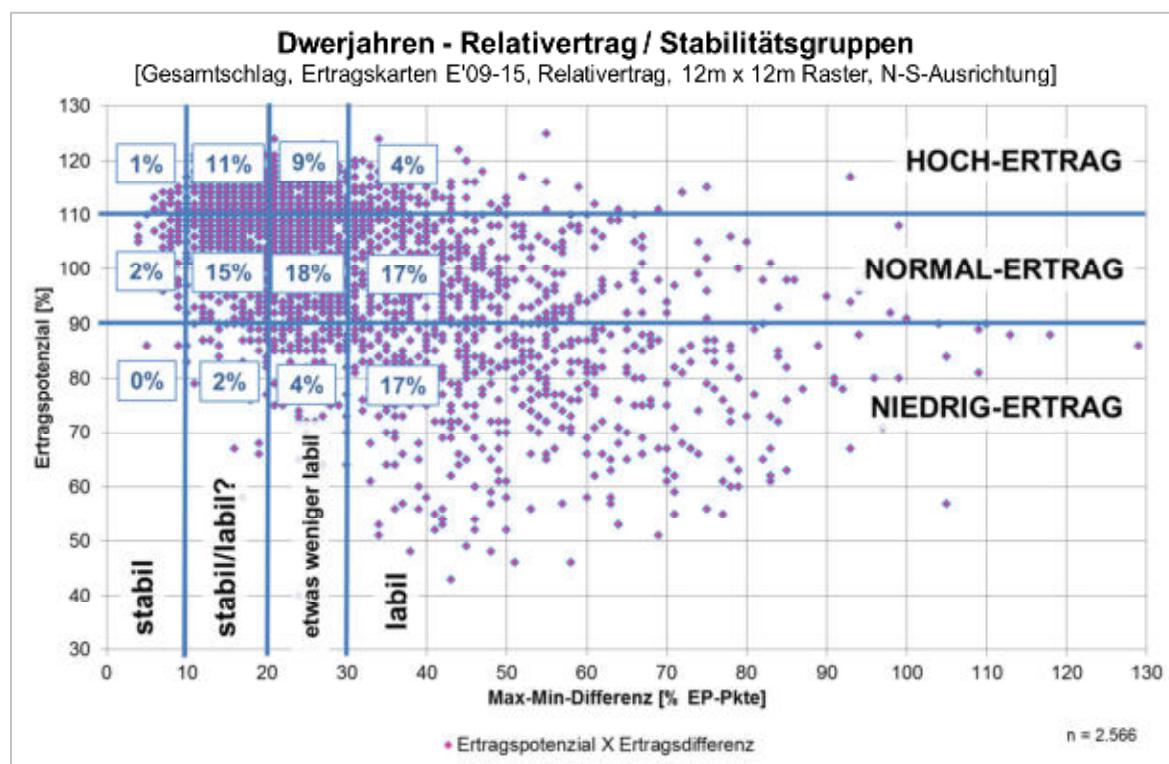


Abb. 76: 20 %-Punkte Ertragsdifferenz einer Teilfläche führen am Standort zu einem N-Sollwertunterschied beim B-Weizen von 44 kg N/ha.

Die Grenzen zwischen stabil und labil sowie zwischen Niedrig- bis Hoyertrag sind in der Grafik frei gewählt. Es fehlen fundierte Erkenntnisse und Empfehlungen dazu, wann eine Teilfläche als stabil oder labil bzw. über- und unterdurchschnittlich ertragreich zu verstehen ist. Ob auf dem Normalertragsbereich durch das neue Verfahren Verbesserungen möglich sind, ist zu hinterfragen. Hier kommen die Mengendifferenzierungen im Wesentlichen aus dem Online-Part. Das zuvor erprobte reine Online-System hatte am Standorte keine Vorteile gebracht.

Der Hoyertragsbereich umfasst bei Berücksichtigung einer Maximum-Minimum-Ertragsdifferenz bis 20 %-Punkte als stabile Teilflächen insgesamt 12 % des Gesamtschlages. Der stabile Niedrigertragsbereich dagegen nur 2 % der Gesamtfläche. Außer dem speziell hinsichtlich der Bodenarten sehr heterogenen Schlag „Dwerjahren“ (35 ha) wurde dieselbe Berechnung für den stark kuppierten Projektschlag „Reuterkoppel“ (42 ha) durchgeführt. Insgesamt 3 % der Teilflächen erfüllen,

die Kriterien für den frei definierten stabilen Hoyertrag mit über 110 % Relativvertrag und bis maximal 20 %-Punkten Ertragsdifferenz. Stabilen Niedrigertrag weisen weniger als 1 Prozent der Teilflächen auf. Eine Empfehlung, wie groß der Flächenanteil mit stabilem Hoch- und Niedrigertrag am Gesamtschlag sein muss, damit das Sensorsystem sinnvoll und wirtschaftlich eingesetzt werden kann, fehlt leider. Da es keine abgesicherten Erkenntnisse zu Hoch- bis Niedrigertrag und stabil bis labil gibt, muss zu dem jeder Anbieter von Ertragspotenzialkarten die Grenzen selbst setzen. D. h. selbst wenn Informationen zum Ertragspotenzial und zur Stabilität vorliegen und ein Mindestflächenanteil an stabilen Ertragszonen für den erfolgreichen Sensoreinsatz empfohlen wird, kann der Landwirt nicht sicher sein, ob die vom Dienstleister gelieferten Daten als Entscheidungsgrundlage für den Sensorkauf aussagekräftig sind.

Die Ertragsstabilität von Teilflächen ist durch die Selektion von Erntejahren beeinflussbar. Werden beispielsweise nur ausgewählte Erntejahre für die Stabilitätsberechnung genutzt, kann dadurch rechnerisch die ertragliche Streuung auf den einzelnen Teilflächen minimiert werden. Das passiert beispielsweise, wenn dafür nur Ertragskarten o.ä. aus Erntejahren genutzt werden, die hoch miteinander korrelieren. Damit wird jedoch eine künstliche nicht natürlich vorkommende Stabilität errechnet und präsentiert. Allerdings erscheint es sinnvoll, dass Extremjahre wie z. B. Virusjahre, etc. aus den Verrechnungen ausgeschlossen werden. Sie werden zwar realisiert, repräsentieren aber nicht unbedingt das Ertragspotenzial und die Ertragsstabilität der Teilflächen. Die Ertragseigenschaften einer Teilfläche ergeben sich aus ihrer spezifischen Kombination der üblichen Wachstumsfaktoren. Ihre Wirkung auf die Ertragsbildung kann im extremen Einzeljahr bzw. durch einen einzelnen Faktor überlagert werden.

Zusätzlich wird der Erfolg des neuen Verfahrens auch durch das räumlich konzentrierte Vorkommen der stabilen Hoch- bzw. Niedrigertragszonen bestimmt. Nur ihr jeweils konzentriertes Auftreten ermöglicht, düngungstechnisch darauf adäquat reagieren zu können (s. Abb. 48, Abb. 51, Abb. 88, Abb. 89). Anfangs arbeitete der Projektbetrieb im 24 m-Fahrgassen-System. Zur Ernte 2011 wurde auf ein 36 m Fahrgassensystem umgestellt. Auf räumliche Unterschiede kann durch die größere Arbeitsbreite weniger eingegangen werden. Abb. 77 zeigt für den Dauerjahrs ergänzend die Kombination aus Ertragspotenzial und Ertragsstabilität sowie deren räumliche Verteilung.

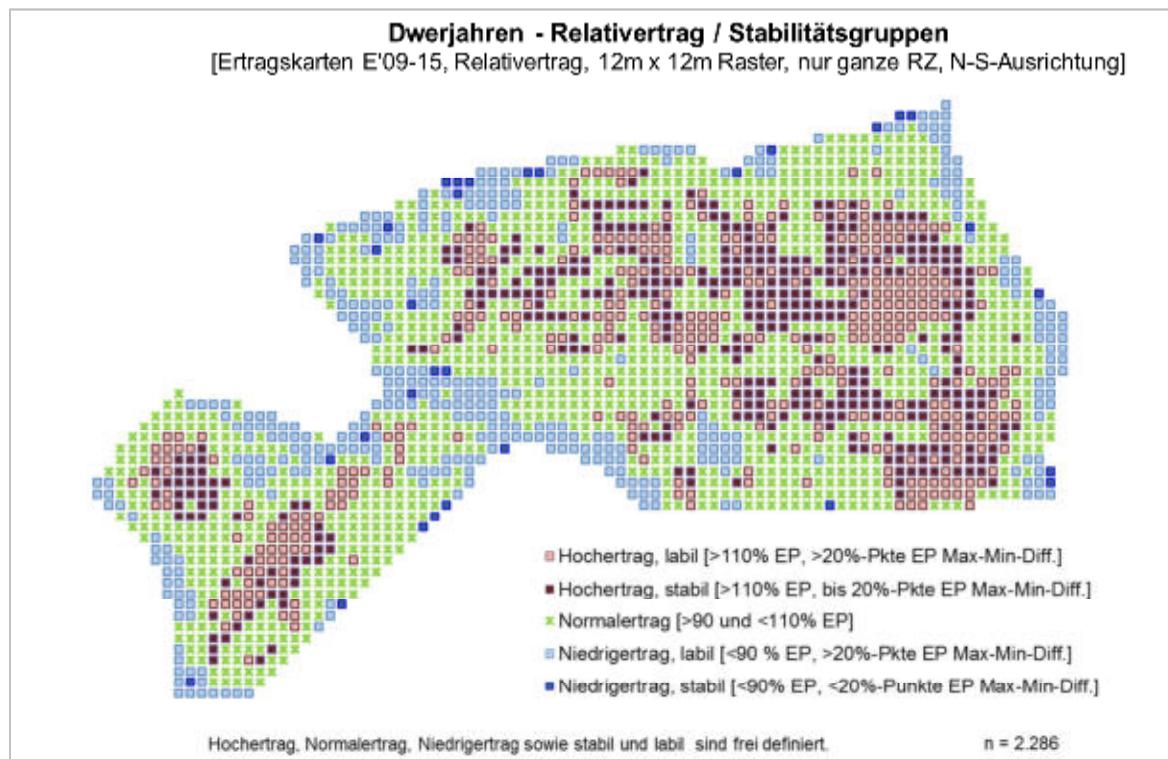


Abb. 77: stabiler Hoch- und Niedrigertrag sowie dessen räumlich konzentriertes Auftreten sind für das Map-Overlay-Verfahren essenziell

Es ist eine mehrjährig verrechnete Karte, wodurch die Heterogenität im Einzeljahr bzw. der Jahre zu einander weggemittelt sind. Zusätzlich werden in der Übersicht durch die Klassenbildung real

existierende Ertragspotenzialunterschiede vom Einzeljahr wegnivelliert. In der stabilen Hochertragsklasse sind jedoch Rasterzellen mit einem Relativvertrag von 111 % sowie von 121 % und einer Maximum und Minimum-Differenz von 20%-Punkten angesiedelt. Bezogen auf das beschriebene B-Weizenbeispiel liegt der N-Sollwertunterschied zwischen den mittleren Ertragspotenzialen in der stabilen Hochertragsklasse schon bei 21 kg N/ha. Setzt man für die Rasterzellen mit im Mittel 111 % das Minimumniveau und für die mit durchschnittlich 121 % das Maximumniveau an, ergibt sich daraus eine Sollwertdifferenz von 69 kg N/ha. Die Klassenbildung hinsichtlich Ertragspotenzial und Ertragsstabilität dient der Übersicht bzw. der Ableitung von Erfolgspotenzialen. Es zeigt sich insgesamt die Komplexität bei der bzw. die Herausforderungen für die präzise Stickstoffdüngung auf.

In der Projektdüngung mit dem Isaria-System wurde auf ein Arbeitsbreiten zentriertes 36 m-Raster und auf das mittlere relative Ertragspotenzial der jeweiligen 36 m-Rasterzelle gedüngt, um auf Potenzialunterschiede entsprechend der technischen Begrenzungen so gut wie möglich eingehen zu können (Abb. 65, Abb. 74, Abb. 85, Abb. 86). Nach langen Diskussionen mit dem Sensorhersteller und dem Ertragspotenzialkartenersteller entwickelte sich die Abkehr von der Düngung nach Ertragsklassen, die aufgrund der gesammelten Erfahrungen bei den Standortgegebenheiten nicht erfolgversprechend schien. Stattdessen wurde jede Rasterzelle entsprechend ihres individuellen Ertragspotenzials ausgedüngt.

Grundsätzlich gilt alles Beschriebene auch für Ertragspotenzialkarten aus Satellitendaten. Auch hier müssen sich sicher für eine zielgerichtete Stickstoffdüngung ertragsstabile Schlagteile ergeben.

Die Information Stabilität geht anders als der Parameter Ertragspotenzial nicht als zusätzlicher Regelparameter in das Düngungssystem ein. Sie gilt aber als wichtiger Parameter, um die Erfolgssäusichten für das neue Düngesystem abschätzen zu können. Die Information Ertragsstabilität wird bisher nicht mit den Ertragspotenzialkarten mitgeliefert.

- Bei Map Overlay meint Ertragsstabilität die Ertragsstabilität des Relativvertrags und nicht die Stabilität des absoluten Kornertrags.
- Ertragsstabilität ist nicht definiert, obwohl es ein entscheidender Parameter für den Sensorerfolg ist.
- Stabile Hoch- und Niedrigertragszonen bestimmen den Verfahrenserfolg, sind aber nicht näher definiert.
- Außer einer Festlegung von Standards für die Ertragspotenzialkartenberechnung und -erstellung braucht es auch welche für die Ertragsstabilität.
- Es ist offen, welcher Mindestanteil an ertragsstabilen Teilflächen für den wirtschaftlichen und umweltseitigen Nutzen erforderlich ist.

## N-Bilanzen

Der mittlere N-Bilanzüberschuss der drei erprobten Verfahren wurde über alle Jahre und Kulturen berechnet. Die N-Bilanzen erreichten mit 49 bis 55 kg N/ha ähnliche Saldo-Mittelwerte (Tab. 36). Eine Reduktion des N-Saldos mittels Sensortechnik wurde im vorwiegend mineralisch sowie anteilig organisch wirtschaftenden Betrieb nicht erreicht. Der maximale N-Saldo der Einzelvarianten lag um ca. 30 kg N/ha höher zwischen 82 und 89 kg N/ha. Dass das Maximum nicht höher ausgefallen ist, hing mit den Erntejahren 2013 bis 2015 zusammen. Keines galt als besonders schlechtes Erntejahr. Schlechte Erntejahre gehen mit höheren N-Bilanzüberschüssen einher, im Einzeljahr sowie im mehrjährigen Durchschnitt. In der ersten Projekthälfte war das durch das ertragsschwache Erntejahr 2011 gegeben. Für den dreijährigen Erprobungszeitraum in der zweiten Projekthälfte ergab sich ein minimales N-Saldo von 6 kg N/ha für betriebsübliche Düngung, Ein-/Zweimaldüngung nach Ertragspotenzialkarte und Sensor-Düngung im Map-Overlay-Verfahren.

Tab. 36: mittlere N-Bilanzüberschüsse der Stickstoffdüngungsverfahren 2013 bis 2015

kg N/ha	Betriebsüblich	Ein-/Zweimaldüngung nach EPK	Isaria-FM-Sensor Online+Map-Overlay
Gesamtmitte	49	53	55
Maximum	89	82	88
Minimum	6	6	6

- Bei den N-Bilanzüberschüssen bieten weder Sensordüngung nach Map-Overlay noch Ein-/Zweimaldüngung nach EPK Vorteile gegenüber der betriebsüblichen Düngung.

#### 6.5.4.4.5. Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Seit 2013 werden in den Stickstoffdüngungsversuchen die drei Verfahren Betriebsüblich, teilflächenspezifische Ein- bzw. Zweimaldüngung als Mapping-Ansatz und ein Isaria-Sensorsystem als Online mit Map-Overlay erprobt. Aufgrund der Unterbindung des Sensoreinsatzes vom Hersteller Fritzmeier im letzten Projektjahr gibt es für 2017 keine weiteren Ergebnisse mit dem Isaria-Sensorsystem. Außerdem wurde eine Veröffentlichung der Sensorergebnisse 2016 untersagt. Aufgrund dessen basieren die Ergebnisse auf einer Datenquantität von insgesamt 17 Auswertungsschlägen, anstatt der geplanten 30 Auswertungsschläge. Standard für einen Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Verfahren ist im OFR-Projekt die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung. Die Zusammensetzungen sowie Preisermittlungen der einzelnen Positionen wird in der Wirtschaftlichkeit der Bodenbearbeitungsverfahren 2008 bis 2013 (siehe Kapitel 6.3.2, S. 75) aufgeführt.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen im dreijährigen Durchschnitt über alle Fruchfolgeglieder vergleichbare Erträge und somit eine vergleichbare Marktleistung der drei Düngungsverfahren, die bei rund 1.800 €/ha liegt (Abb. 78). Die Direktkosten unterscheiden sich ebenfalls nur gering und lassen die Ein-/Zweimaldüngung aufgrund der Stickstoffgabe mit dem kostenintensiveren Alzon S rund 10 €/ha höher ausfallen. Auch die Arbeitserledigungskosten differenzieren nur geringfügig. Die Kosteneinsparungen der verminderten Durchfahrten in der Ein-/Zweimaldüngung relativieren sich wieder aufgrund der geringeren Flächenleistung durch die hohen Alzon S - Düngermengen. Der Sensorvariante werden ca. 10 €/ha mehr zugerechnet aufgrund der Anschaffungskosten von Sensortechnik, Wartung und Reparatur, Erstellung und Aktualisierung der Ertragspotenzialkarten für das Map-Overlay-Verfahren, gelegentlich separate Herbstscans vom Raps sowie die Erstellung von N-Streukarten für den Raps. Da derzeit offen ist, ob das Ausdüngen des niedrigen Ertragspotenzials im Vorgewende Ertragseinbußen mit sich bringt, empfiehlt der Sensorhersteller hier statt das Vorgewende mit Online mit Map-Overlay zu düngen, auf dem Vorgewende nur online zu fahren. Da der reine Onlineansatz im Projekt keine Vorteile gezeigt hat, würde das Vorgewende weiterhin betriebsüblich gedüngt werden. Die oben beschriebenen Kostenpositionen sind deshalb auf die Einsatzfläche bzw. Kernfläche des Sensorsystems statt auf die Betriebsfläche zu beziehen. Die Kosten pro Hektar Anwendungsfläche steigen demzufolge. Nur diese Fläche ist auch in der Lage, einen Rückgewinn der Mehrausgaben oder eine Überkompensation durch das Sensorsystem zu realisieren. Die Sensorkosten beziehen sich in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen auf einen 1.000 ha-Betrieb, entsprechend der Helmstorfer Betriebsgröße. In Tab. 27, S. 92 werden ebenfalls Kostenberechnungen der Sensorsysteme für kleinere Betriebe dargestellt. Schlussendlich weisen die drei Düngungsverfahren ähnliche Ergebnisse in der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAL) auf. Aufgrund nur geringer Kostenunterschiede in der Arbeitserledigung und der Direktkosten erzielen die drei Verfahren jeweils eine DAL von rund 845 €/ha. Der Fritzmeier-Sensor mit Online mit Map-Overlay-Verfahren zeigt wirtschaftlich betrachtet im Mittel über die drei Jahre und alle Fruchfolgeglieder keinen Vorteil im Vergleich zur betriebsüblichen Düngung bzw. zur Ein-/Zweimaldüngung nach Ertragspotenzialkarte.

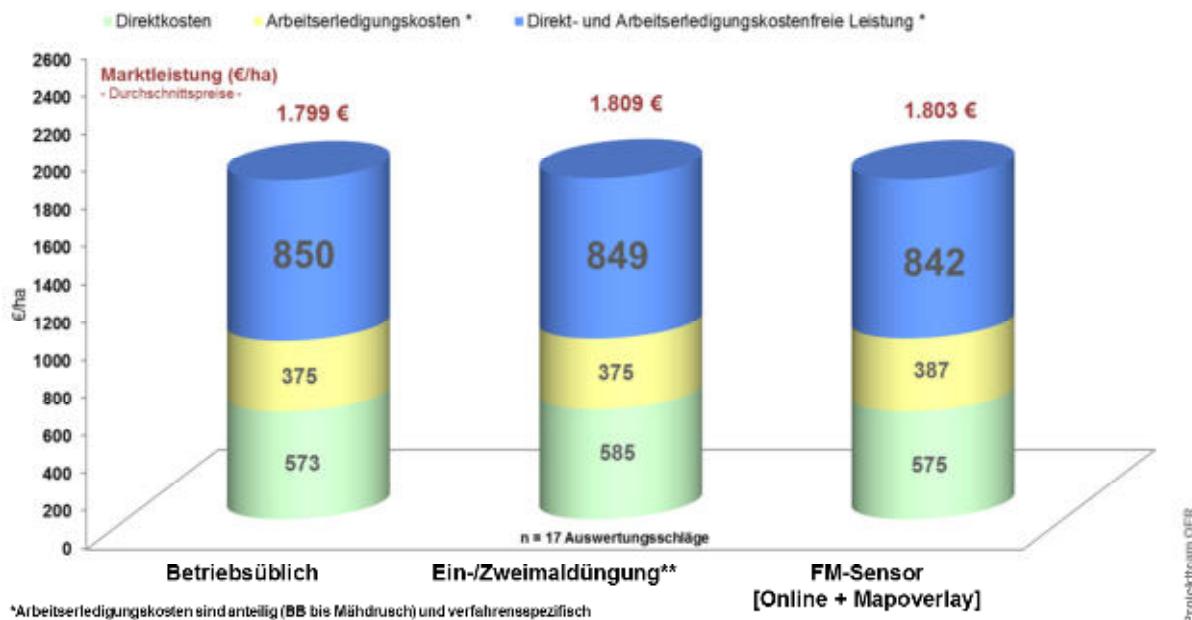


Abb. 78: Wirtschaftlichkeit der N-Düngungsvarianten 2013 – 2015 (FM-Sensor = Isaria-Sensor mit Ertragspotenzialkarte). Mittel der Fruchtfolge aus Raps-Weizen-Gerste/Weizen.

Unter Betrachtung der einzelnen Fruchtfolgeglieder Raps, Weizen, Stoppelweizen und Gerste werden ebenfalls keine gravierenden Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit sichtbar.

Die Rapsergebnisse basieren auf sieben Auswertungsschlägen und erzielen in allen drei Varianten eine vergleichbare Marktleistung von rund 1.900 €/ha (Tab. 37). Aufgrund geringer Ertragsunterschiede lassen sich keine größeren Differenzen zwischen den drei Verfahren in der Marktleistung feststellen, wobei die Sensorvariante rund 20 €/ha mehr erzielt im Vergleich zur betriebsüblichen Variante. Die Direktkosten unterscheiden sich ebenfalls nur geringfügig und lassen die Einmaldüngung aufgrund der Stickstoffgabe mit dem kostenintensiveren Alzon S rund 20 €/ha höher ausfallen. Auch die Arbeitserledigungskosten unterscheiden sich nur geringfügig. Der Sensorvariante werden 16 €/ha mehr zugerechnet aufgrund der Anschaffungskosten von Sensortechnik, durch Wartung und Reparatur, durch die Erstellung und Aktualisierung der Ertragspotenzialkarten für das Map-Overlay-Verfahren, durch gelegentlich separate Herbstscans vom Raps sowie durch die Erstellung von N-Streukarten für den Raps. Im Raps zeigt die Einmaldüngung mit Alzons S keine arbeitswirtschaftlichen Vorteile. Die Anzahl der Durchfahrten wurde reduziert, jedoch zeigen sich in den Berechnungen keine Einsparungen wieder, da die geringe Fahrgeschwindigkeit und der damit verbundene erhöhte Arbeitszeitbedarf zum Ausbringen der großen Alzon-Düngermenge höhere Kosten mit sich bringen. Die Flächenleistung bei der Einmaldüngung im Raps wird halbiert. Dadurch gibt es keinen Arbeitszeitvorteil, da der Raps betriebsüblich im Frühjahr mit 2 Durchfahrten fertiggestellt wird. Schlussendlich werden in der DAL keine großen Unterschiede zwischen den Düngeverfahren deutlich. Die Differenz der Einmaldüngung zur betriebsüblichen Düngung findet sich in einem Bereich von ca. 25 €/ha wieder. Hingegen ist die Differenz zwischen Sensorsystem und betriebsüblicher Düngung zu vernachlässigen.

Tab. 37: Einfluss der N-Düngeverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Raps von 2013-2015

Raps [€/ha] 7 Auswertungsschläge	Betriebsüblich	Einmaldüngung nach EPK	FM-Sensor Online+Map-Overlay
Marktleistung	1.896	1.894	1.914
Direktkosten	661	678	657
Arbeitserledigungskosten	359	364	375
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>	<b>876</b>	<b>852</b>	<b>881</b>

Im Rapsweizen werden vier Schläge in die Auswertung mit einbezogen. Im Mittel über die Jahre zeigen sich keine großen Ertragsdifferenzen zwischen den Verfahren. Das betriebsübliche Düngeverfahren weist dabei eine Marktleistung von 1.867 €/ha auf, wobei sich die Zweimaldüngung auf einem ähnlichen Niveau befindet (Tab. 38). Hingegen lässt sich in der Sensorvariante ein geringerer Betrag von 38 €/ha vergleichen. Die Direktkosten unterscheiden sich ebenfalls nur geringfügig und lassen die Zweimaldüngung aufgrund der Stickstoffgabe mit Alzon S rund 10 €/ha teurer ausfallen. In den Arbeitserledigungskosten werden der Sensorvariante rund 10 €/ha mehr gegenüber der betriebsüblichen Düngung zugerechnet aufgrund der Anschaffungskosten des Sensorsystems. Die reduzierten Durchfahrtskosten lassen sich ebenfalls in der Zweimaldüngung nicht wiederfinden. Das Ausbringen der größeren Stickstoffmengen mit Alzon S reduziert die Flächenleistung je Arbeitsstunde und verteuert entsprechend die Durchfahrtkosten pro Hektar. Im Getreide fällt die Flächenleistung zu N1 mit Alzon S höher als bei der Einmaldüngung aus, jedoch immer noch niedriger als bei der betriebsüblichen Düngung. Durch eine zweite Durchfahrt mit Harnstoff zu N3 sind die gesamten Durchfahrtkosten zwar niedriger als bei der betriebsüblichen Düngung. Die notwendige Fahrgeschwindigkeitsreduktion hatte sich zu Projektbeginn herauskristallisiert. Schlussendlich wird in dem Sensorverfahren ein geringerer Unterschied der DAL von rund 50 €/ha im Vergleich zur betriebsüblichen Düngung festgestellt. Dies stellt sich aus der geringeren Marktleistung sowie etwas kostenintensiveren Arbeitserledigung zusammen.

Tab. 38: Einfluss der N-Düngeverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Rapsweizen von 2013-2015

Weizen nach Raps [€/ha] 4 Auswertungsschläge	Betriebsüblich	Zweimaldüngung nach EPK	FM-Sensor Online+Map-Overlay
Marktleistung	1.867	1.859	1.829
Direktkosten	577	588	581
Arbeitserledigungskosten	355	352	364
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>	<b>934</b>	<b>920</b>	<b>885</b>

Die Stoppelweizenergebnisse basieren auf nur zwei Auswertungsschlägen. Aufgrund der witterungsbedingten Fruchtfolgeumstellungen zur Aussaat 2010 und 2011 auf den Projektschlägen wurde zur Ernte 2015 kein Stoppelweizen angebaut. Da die erarbeiteten Stoppelweizenergebnisse zur Ernte 2016 vom Sensorhersteller nicht für eine Veröffentlichung freigegeben wurden bzw. 2017 keine Erprobungen mehr mit dem Sensor durchgeführt werden durften, fallen diese Ergebnisse ebenfalls weg. Der Stoppelweizen erzielt in der betriebsüblichen- sowie in der Sensorvariante vergleichbare Marktleistungen von rund 1.680 €/ha (Tab. 39). Die Zweimaldüngung zeigt dabei einen höheren Erlös von 1.742 €/ha, der sich aufgrund des höheren Ertrages berechnen lässt. Die Direktkosten unterscheiden sich nur in der Zweimaldüngung aufgrund der Stickstoffgabe mit Alzon S um rund 20 €/ha. Der Sensorvariante werden rund 10 €/ha mehr in den Arbeitserledigungskosten zugerechnet aufgrund der

Anschaffungs- sowie Managementkosten des Sensorsystems. Die reduzierten Durchfahrtskosten der Zweimaldüngung findet man aufgrund der geringen Fahrgeschwindigkeit durch die Ausbringung der großen Stickstoffmenge in den Arbeitserledigungskosten nicht auffallend wieder. Diese Schlussfolgerung finden wir in fast allen Jahren bzw. Kulturen wieder. Letzten Endes weißt die Zweimaldüngung die größte DAL auf von 658 €/ha, die aufgrund des deutlichen Mehrertrags trotz der etwas höheren Stickstoffkosten errechnet wurde. Die anderen zwei Düngeverfahren erzielen einen geringeren Betrag von rund 45 €/ha.

Tab. 39: Einfluss der N-Düngeverfahren auf die Wirtschaftlichkeit im Stoppelweizen von 2013-2015 (zur Ernte 2015 kein Stoppelweizen)

Stoppelweizen [€/ha] 2 Auswertungsschläge	Betriebsüblich	Zweimaldüngung nach EPK	FM-Sensor Online+Map-Overlay
Marktleistung	1.679	1.742	1.683
Direktkosten	651	674	649
Arbeitserledigungskosten	413	410	421
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	614	658	612

In der Wintergerste werden vier Schläge in die Auswertung mit einbezogen und erzielen in der Zweimal- als auch Sensorvariante eine vergleichbare Marktleistung von rund 1.645 €/ha (Tab. 40). Die betriebsübliche Variante weicht dabei aufgrund eines etwas geringeren Ertrages mit 20 €/ha von den anderen beiden Varianten ab. Die Direktkosten unterscheiden sich nur geringfügig um 10 €/ha, die sich durch divergierende Stickstoffform und -menge ergeben. Der Sensorvariante werden auch in der Gerste rund 10 €/ha mehr Technikkosten zugerechnet. Die reduzierten Durchfahrtskosten der Zweimaldüngung findet man, wie auch bereits in den anderen Kulturen erwähnt, nicht auffallend wieder. Schlussendlich befinden sich alle drei Düngeverfahren in der DAL auf dem gleichen Niveau bei rund 655 €/ha. Der geringe Ertragsvorteil der Zweimal- sowie Sensordüngung wird durch die höheren Direktkosten bzw. beim Sensor noch die zusätzlichen Arbeitserledigungskosten relativiert.

Tab. 40: Einfluss der N-Düngeverfahren auf die Wirtschaftlichkeit in der Gerste von 2013-2015.

Gerste [€/ha] 4 Auswertungsschläge	Betriebsüblich	Zweimaldüngung nach EPK	FM-Sensor Online+Map-Overlay
Marktleistung	1.620	1.643	1.645
Direktkosten	569	579	581
Arbeitserledigungskosten	404	400	412
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	647	664	652

Aufgrund der divergierenden Untersuchungszeiträume der zwei Sensorsysteme mit jeweils entsprechenden Anpassungen der Preisnotierungen sowie der unterschiedlichen Wettereinflüsse können diese Verfahren nicht direkt miteinander verglichen werden. Die Software erlaubt grundsätzlich auch Map-Overlay durch Einbindung von Offline-Karten, die Nutzung wird aber vom Hersteller nicht empfohlen und wurde somit auch innerhalb des Projektes nicht eingesetzt. Bei dem Isaria-Sensor hingegen wurden durch das Map-Overlay-Verfahren Offline-Karten eingesetzt.

- Der Fritzmeier-Sensor mit Online mit Map-Overlay-Verfahren zeigt wirtschaftlich betrachtet im Mittel über die drei Versuchsjahre auf Gut Helmstorf keine Vorteile im Vergleich zur betriebsüblichen- sowie der Ein-/Zweimaldüngung.
- Mit der Ein-/Zweimaldüngung sind kaum reduzierte Arbeitserledigungskosten verbunden. Die hohen Düngemengen Alzon S erfordern für die saubere Ausdosierung mit dem Exaktstreuer eine geringere Fahrgeschwindigkeit.

#### 6.5.4.4.6. Wirtschaftlichkeitsberechnungen der N-Düngeverfahren „Betriebsüblich“ und „Zweimaldüngung“ 2013 bis 2017

Seit 2013 werden in den Stickstoffdüngungsversuchen die Verfahren Betriebsüblich, teilflächenspezifische Ein- bzw. Zweimaldüngung als Mapping-Ansatz und ein Isaria-Sensorsystem als Online mit Map-Overlay erprobt. Aufgrund der Unterbindung des Sensoreinsatzes vom Hersteller Fritzmeier im letzten Projektjahr gibt es für 2017 keine weiteren Ergebnisse mit dem Isaria-Sensorsystem. Außerdem wurde eine Veröffentlichung der Sensorergebnisse 2016 untersagt, aufgrund dessen die Ergebnisse der anderen zwei Varianten von 2013 bis 2017 separat gegenüber gestellt wurden.

Im fünfjährigen Durchschnitt mit 28 Auswertungsschlägen zeigen die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der zwei verbliebenen Varianten über alle Fruchtfolgeglieder vergleichbare Erträge und somit entsprechende Marktleistungen bei rund 1.730 €/ha (Abb. 79). Ein ähnliches Ergebnis erschließt sich ebenso im dreijährigen Durchschnitt mit 17 Auswertungsschlägen in (Abb. 78). Die Arbeitserledigungskosten der beiden Verfahren liegen auf einem ähnlichen Niveau von ca. 376 €/ha. Die Kosteneinsparungen der verminderten Durchfahrten in der Ein-/Zweimaldüngung relativieren sich wieder aufgrund der geringeren Flächenleistung durch die hohen Alzon S - Düngermengen. Der stabilisierte Stickstoffdünger Alzon S ist zusätzlich ein kostenintensiverer Dünger im Vergleich zum Harnstoff, der in der betriebsüblichen Variante eingesetzt wird. Demzufolge entsteht ein Kostenunterschied von 13 €/ha innerhalb der Direktkosten. Schlussendlich folgt der geringe Kostenunterschied in der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAL), wodurch das Verfahren sich nicht wesentlich von der betriebsüblichen Variante abhebt.

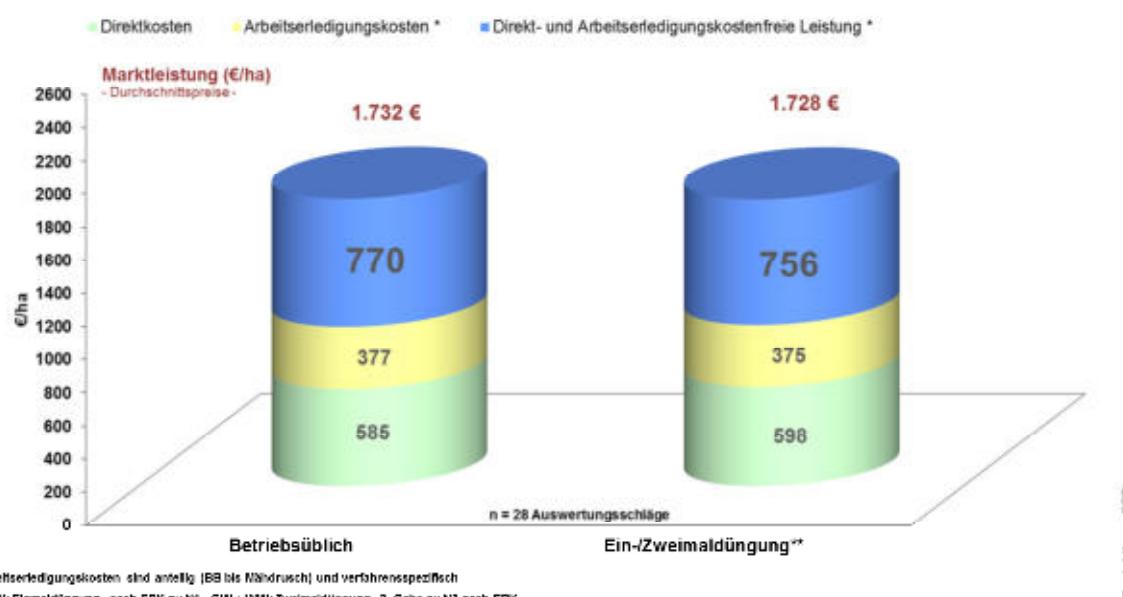


Abb. 79: Wirtschaftlichkeit der N-Düngevarianten „Betriebsüblich“ und „Ein-/Zweimaldüngung“ 2013 – 2017. Mittel der Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste/Weizen

Die einzelnen Fruchtfolgeglieder Raps, Weizen und Gerste zeigen ebenfalls vergleichbare Ergebnisse im Vergleich zum dreijährigen Durchschnitt (Kap. 6.5.4.4.5) und somit nur geringe Unterschiede zwischen

den Varianten. Die Anzahl der berechneten Versuchsschläge nimmt im Raps von 7 auf 9, im Weizen von 4 auf 9 und in der Gerste von 4 auf 6 zu. Die Durchschnittswerte des Stoppelweizens setzten sich im dreijährigen Mittel (Tab. 39.) aus nur zwei Versuchsschlägen zusammen, die im fünfjährigen Mittel auf 4 Auswertungsschläge erhöht werden. Im dreijährigen Mittel zeigte sich der Stoppelweizen in der Zweimaldüngung mit einer deutlich höheren DAL von 44 €/ha. Dieser Vorteil basiert vor allem auf dem höheren Ertrag eines Einzelschlages. Mit Einbezug zweier zusätzlicher Auswertungsschläge aus den Jahren 2016 und 2017 relativiert sich die höhere DAL der Zweimaldüngung. Die betriebsübliche Variante erzielt im fünfjährigen Mittel 15 €/ha mehr in der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung, die auch hier aufgrund der etwas geringeren Direktkosten durch den günstigeren Harnstoffdünger zustande kommen (Tab. 41). Anhand dieser Auswertung wird ebenfalls die Wichtigkeit der Anzahl an Versuchsschlägen deutlich. Aufgrund eines Jahreseffektes in 2013 wird die Zweimaldüngung zunächst in der dreijährigen Auswertung überdurchschnittlich dargestellt, das sich mit Einbezug mehrerer Schläge und Jahre wieder relativiert.

**Tab. 41: Einfluss der betriebsüblichen sowie Ein-/Zweimaldüngung auf die Wirtschaftlichkeit im Stoppelweizen von 2013–2017 (zur Ernte 2015 kein Stoppelweizen)**

Stoppelweizen [€/ha] 4 Auswertungsschläge	Betriebsüblich	Zweimaldüngung nach EPK
Marktleistung	1.647	1.644
Direktkosten	623	641
Arbeitserledigungskosten	406	401
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>	<b>617</b>	<b>602</b>

#### 6.5.4.5. Testfahrten

Absolute Systeme bestimmen die Düngempfehlung ohne Referenzmessungen. Sie hängen ihre N-Empfehlung zum Termin nicht am durchschnittlich entwickelten Bestand vor Ort auf, sondern haben dafür im System eine als allgemein durchschnittlich definierte Bestandsentwicklung hinterlegt. Um bei Anschlussdüngungsterminen eine richtige Empfehlung geben zu können, muss der vorher gestreute Stickstoff vollständig von der Pflanze aufgenommen sein. Nicht aufgenommener Stickstoff kann von den Sensoren nicht erkannt werden. Über Testfahrten zur jeweiligen Anschlussdüngung mit beiden Sensorsystemen wurde versucht, die N-Aufnahme bzw. die vorhandene Transit-Stickstoffmenge aus der vorherigen Düngung abzuschätzen und ggf. von der empfohlenen Menge abzuziehen. Die Bestimmung des Transit-Stickstoffs ist auch nach vielfältigen Diskussionen mit den Sensorherstellern sehr unsicher und nur schwer möglich. Außerdem erzeugt dieses Vorgehen im Betrieb einen systembedingten zusätzlichen Arbeitszeitbedarf. Alternativ kann mit relativem Modus gefahren werden, in dem der Nutzer die Düngermenge für den mittleren Bestand zum Termin selbst festlegt. In der Praxis hat sich anteilig gezeigt, dass Düngergaben häufig gestreut werden, bevor der Pflanzenbestand alle verfügbaren Mengen aufgenommen hat. Dieses Vorgehen sichert zum einen eine durchgängige Versorgung oder nutzt vorhandene Feuchte oder kommenden Regen, um den Dünger für die Pflanzennährung in Lösung zu bringen. Zum anderen hat auch die Arbeitswirtschaft auf den Düngungstermin einen Einfluss. Mit den vorhandenen maschinellen und personellen Kapazitäten muss eine termingerechte Düngung im Betrieb sichergestellt sein. Auch bei vorkommenden Witterungsunfällen, die den geplanten Düngungstermin ausbremsen.

### **Yara N-Sensor:**

Gerade zur ersten Gabe im Raps sind die Bestände in manchen Jahren so schwach entwickelt, dass der Sensor die Düngempfehlung stark zurücknimmt. Testfahrten vor der eigentlichen Düngung dienten zur Abschätzung, ob der Sensoreinsatz überhaupt sinnvoll ist. Die Rapsbestände sollten nach Herstellerangaben mindestens zu 80 % die vom System definierte Mindestentwicklung aufweisen. Andernfalls regelt, dass System zu häufig die Menge runter und das doch noch am Standort vorhandene Potenzial wird deshalb nicht ausgeschöpft. Außerdem differenzieren Bestände unter solchen Bedingungen auch sehr wenig, sodass kein Potenzial in der teilflächenspezifischen Düngung steckt. Der Sensorhersteller empfiehlt bei Beständen, bei denen weniger als 80 % der Fläche die Mindestentwicklung erreicht haben, daher auch eine konstante Düngung.

### **Fritzmeier Isaria-Sensor:**

Bei der Anwendung hatte sich gezeigt, dass Messfahrten an aufeinander folgenden Tagen auf dem gleichen Schlag an doppelt gemessenen Stellen Abweichungen zeigen. Aufgefallen war zusätzlich, dass die beim Streuen gemachten N- Empfehlungen von denen vorheriger Testfahrten abwichen.

Um Erfahrungen zu sammeln, welchen Einfluss einzelne Einstellungen in der Sensorsoftware auf die empfohlene N-Menge bewirken und wie stabil die Messung ist, sind systematische Testfahrten im Weizen durchgeführt worden (Tab. 42). Dabei sind je Weizenschlag wiederholt die gleichen Spuren zeitnah abgefahren und Einstellungen am Sensorterminal bzw. die Höhe der Sensorköpfe über dem Bestand variiert worden. Dazu wurde das absolute Düngesystem Weizen mit hinterlegter Ertragspotenzialkarte gewählt, das die Düngermenge ohne gesonderte Referenzmessung bestimmt. Dem System sind keine Grenzen, die die Höhe der N-Empfehlung beeinflussen, vorgegeben worden.

Variiert wurden die Einstellungen, die der Nutzer für eine Düngungsempfehlung eingeben muss bzw. die er verändern kann:

- Weizenqualität
- Ertragserwartung
- aktuelles EC-Stadium
- EC-Stadium der nächsten Gabe
- Sensorhöhe

Der gemessene Index (IRMI) erweist sich bei mehreren Fahrten als stabil, wenn nicht zu viel Zeit zwischen den Fahrten vergeht oder sich die Verhältnisse nicht ändern. Die Höhe der Messköpfe hat einen Einfluss auf diesen Index. Die Einstellung von notwendigen Parametern zur Düngung hat erheblichen Einfluss auf die Düngungsempfehlung.

Tab. 42: Systematische Testfahrten mit dem Isaria-Sensor im Winterweizen

Schlag Testnummer	Fruchtart	Qualität	Ertragserwartung [t/ha = 100% EP]	Datum	EC aktuell	EC nächste Gabe	Dünger		Ergebnisse				Bemerkung			
							Düngertyp *	Untergrenze [kg N/ha]	Obergrenze [kg N/ha]	EPK eingesetzt **	Sensor-Höhenwert	IRMI	IBI	N-Empfehlung [kg N/ha]	EPK-Mittel [t/ha]	
S1 N2 Test 1	WW	A	9,1	24.04.	31	37	H	0	200	j	521	21,6	3,6	112,8	10,5	Sensorköpfe ca. 100 cm über Bestand außer Test 4-6
S1 N2 Test 2	WW	A	9,1	24.04.	31	42	H	0	200	j	521	21,6	3,6	132,5	10,4	
S1 N2 Test 3	WW	A	9,1	24.04.	31	47	H	0	250	j	521	21,6	3,6	154,9	10,4	
S1 N2 Test 4	WW	A	9,1	24.04.	31	47	H	0	250	j	571	21,3	3,7	158	10,4	Sensorköpfe 60 cm über Bestand
S1 N2 Test 5	WW	A	9,1	24.04.	31	47	H	0	250	j	488	21,7	3,6	152,9	10,4	Sensorköpfe 120 cm über Bestand
S1 N2 Test 6	WW	A	9,1	24.04.	31	47	H	0	250	j	456	21,6	3,5	153,2	10,4	Sensorköpfe 140 cm über Bestand
S1 N2 Test 7	WW	B	9,1	24.04.	31	37	H	0	250	j	521	21,5	3,6	88,7	10,4	
S1 N2 Test 8	WW	B	9,1	24.04.	31	47	H	0	250	j	521	21,6	3,6	126,9	10,5	
S1 N2 Test 9	WW	C	9,1	24.04.	31	37	H	0	250	j	521	21,6	3,6	88,3	10,5	
S1 N2 Test 10	WW	C	9,1	24.04.	31	47	H	0	250	j	521	21,6	3,7	126,8	10,5	
S1 N2 Test 11	WW	A	9,1	28.04.	30	37	H	0	250	j	521	22,0	3,6	114,3	10,4	früheres aktuelles EC eingeben
S1 N2 Test 12	WW	A	9,1	28.04.	30	47	H	0	250	j	521	22,0	3,6	157,2	10,5	früheres aktuelles EC eingeben
S1 N2 Test 13	WW	A	9,1	28.04.	32	37	H	0	250	j	521	22,0	3,6	96,7	10,4	späteres aktuelles EC eingeben
S1 N2 Test 14	WW	A	9,1	28.04.	32	47	H	0	250	j	521	22,0	3,6	139,7	10,5	späteres aktuelles EC eingeben
S1 N2 Test 15	WW	A	9,1	28.04.	31	47	H	0	250	j	521	22,1	3,7	152,2	10,5	Test 11 bis 15 anderer Tag, Test 15 = EC-aktuell
S2 N2 Test 1	WW	B	9,7	04.05.	32	37	H	0	250	j	521	24,8	4,0	55,6	10,6	Anderer Schlag, anderer Tag
S2 N2 Test 3	WW	B	9,7	04.05.	32	47	H	0	250	j	521	24,7	4,0	95,2	10,5	Sensorköpfe jeweils ca. 95 cm über Bestand
S2 N2 Test 15	WW	B	8,0	04.05.	32	47	H	0	250	j	521	25,4	4,0	59,8	8,8	
S2 N2 Test 16	WW	B	8,0	04.05.	32	47	H	0	250	j	521	25,5	4,0	59,3	8,8	
S3 N3 Test 6	WW	B	9,7	27.05.	47	E	H	0	200	j	528	27,1	4,4	38,0	11,1	Sensorköpfe 85 cm über Bestand
S3 N3 Test 11	WW	B	9,7	27.05.	47	E	H	0	200	j	477	28,2	4,4	22,0		Sensorköpfe 120 cm über Bestand
S3 N3 Test 12	WW	B	9,7	27.05.	47	E	H	0	200	j	555	26,4	4,4	49,0	11,2	Sensorköpfe 60 cm über Bestand

\* H = Harnstoff      \*\* j = ja, Ertragspotenzialkarte ohne Vorgewende im 36 m Raster mit Relativwert je Rasterzelle und Fahrgassenausrichtung

## 7.5 Ertragserfassung

In den Großflächenversuchen dient der Ertrag und seine räumliche Verteilung im Felde als Erfolgskontrolle und Grundlage für weitere Berechnungen (z. B. lokale Entzüge oder Ertragspotenzialkarten). Die im Projektbetrieb vorhandenen Mähdrescher der Fa. Claas verfügen über eine volumetrische Ertragserfassung.

## Technische Umsetzung

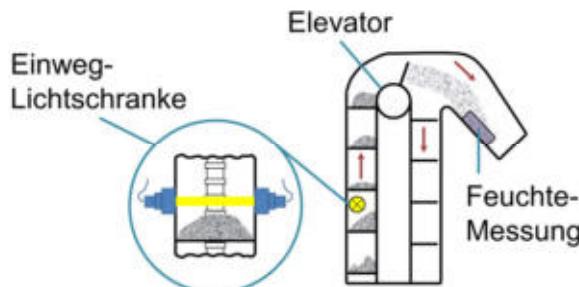


Abb. 80: Volumetrische Ertragserfassung (geändert nach Diekhans)

Diese erfasst über eine Lichtschranke im Elevator die Schüttfläche auf jedem Elevatorpaddel. Der Ertrag berechnet sich aus dem so bestimmten Volumen, der Feuchte und dem Litergewicht (Abb. 80). Um sich an sich verändernde Gegebenheiten im Ernteverlauf anzupassen, muss das Litergewicht per Messbecher und Federwaage gelegentlich kalibriert werden. Eine weitere Kalibrierung erfolgt durch Gegenwiegen von einzelnen Ladungen auf einer Fuhrwerkswaage und dem Abgleich des gewogenen Ertrags mit dem erfassten Gewicht auf dem Mähdrescher. Ebenso wird die Feuchtemessung auf dem Mähdrescher mit der Messung am geeichten stationären Feuchtemessgerät in der Trocknung kalibriert.

## Erfahrungen

Der Vergleich von den vom Mähdrescher erfassten Daten und den gewogenen Erträgen an der Fuhrwerkswaage zeigt, dass 55 von 88 beernteten Varianten eine deutliche Abweichung von mehr als 5 % aufweisen. Diese Abweichungen sind nicht systematisch und führten teilweise zu einer Umkehr im Ranking der Versuchsvarianten zwischen Mähdrescher und Waage. Die Vorgewende sind aus dem Vergleich herausgenommen und werden nicht mit berücksichtigt, weil dort die Erfassung noch ungenauer ist. Es wird dort mit ständig wechselnder Geschwindigkeit quer zur Bearbeitungsrichtung gedroschen, häufig angehalten und gewendet.

Es können also bei der Ertragserfassung Fehler entstehen. Um trotzdem valide Ergebnisse zu erhalten, ist es notwendig, mögliche Fehlerquellen zu kennen und bei der Aufbereitung der Daten ggf. zu berücksichtigen. In den folgenden Abb. 81 und Abb. 82 werden mögliche Fehler bei der Ertragserfassung dargestellt.

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Durchsatzsensor<ul style="list-style-type: none"><li>- Absoluter Fehler und Drift</li><li>- Druschgut</li><li>- Neigung</li><li>- Zufälliger Fehler</li><li>- Sensitivität (Reaktionsgeschwindigkeit), Glättung</li></ul></li><li>• Positionsfehler<ul style="list-style-type: none"><li>- GNSS-Fehler</li><li>- Wegmessung</li></ul></li><li>• Schneidwerk<ul style="list-style-type: none"><li>- Position</li><li>- Schnittbreite</li></ul></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Interne Dynamik<ul style="list-style-type: none"><li>- Zeitversatz</li><li>- Füllphasenfehler nach Start</li><li>- Entleerungsphasenfehler nach Stopp</li><li>- Interne Vermischung</li><li>- Geschwindigkeitsänderungen</li></ul></li><li>• Nachbereitung<ul style="list-style-type: none"><li>- Löschen von Daten</li><li>- Glätten durch Interpolation</li></ul></li><li>• Grobe Fehler<ul style="list-style-type: none"><li>- Unvollständige Kartierung</li><li>- Datenübertragung auf den PC (falsche Felder, Dopplungen, Auslassungen)</li></ul></li></ul> |
|---|--|

Abb. 81: Mögliche Fehler bei der Ertragserfassung (geändert nach Gebbers 2014)

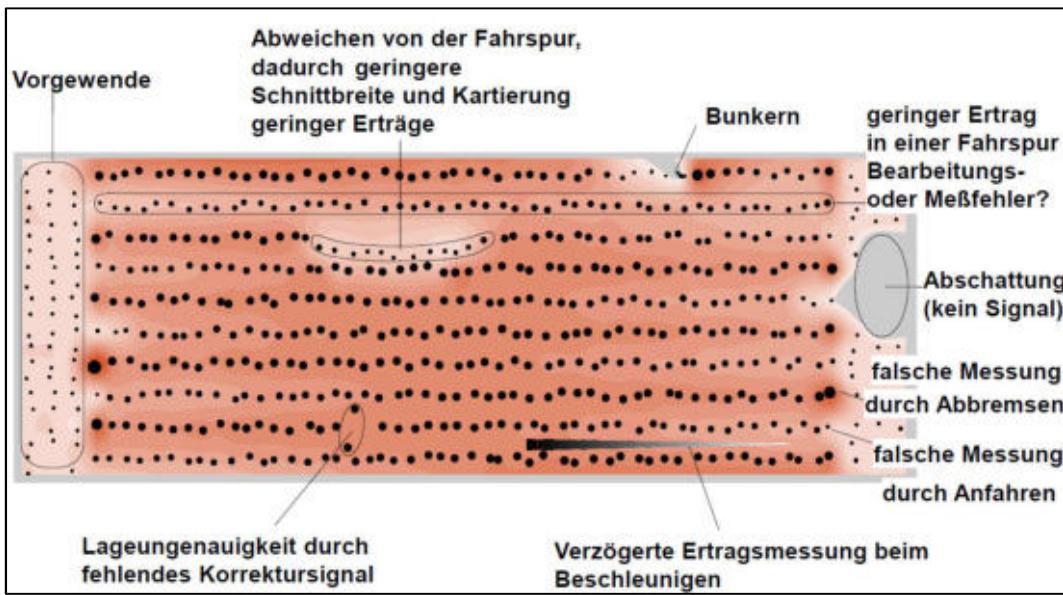


Abb. 82: Mögliche räumliche Verteilung von Fehlern bei der Ertragserfassung (Gebbers, 2014)

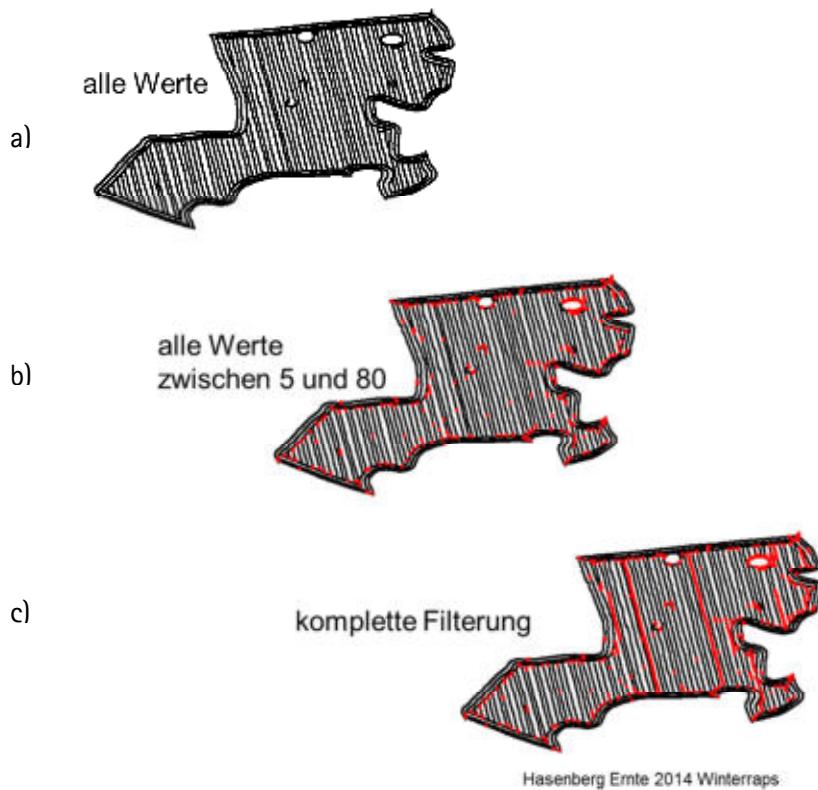
Einige dieser Fehler kann der Anwender durch gleichmäßiges Fahren, gute Wartung und manuelles Markieren von Keilen (Schneidwerk nicht vollständig im Bestand) minimieren bzw. dokumentieren. Andere Fehler entstehen durch Ausfälle von GNSS oder durch defekte Speichermedien und sind vom Nutzer nicht zu beeinflussen.

Während der Ernte hat der Fahrer die Möglichkeit, verschiedene Marker zu setzen und damit besonders auffällige Bereiche auf dem Feld im Datensatz zu markieren, wie etwa Lagerstellen oder Ausfallflächen. Eine Nachbehandlung der vom Mähdrescher gelieferten Daten ist über verschiedene Filterparameter möglich. Zu Projektbeginn wurden verschiedene Datenfilter in einem eigenen Programm erprobt. Es wurde dabei so wenig wie möglich in die Daten eingegriffen, um eine Verfälschung der Versuchsergebnisse auszuschließen. Für die Aufbereitung wurde im Verlauf des Projektes die folgende Filterung der Rohdaten festgelegt und für alle Versuche gleichermaßen angewendet:

- Ertrag Grenzen [dt/ha]
 

Weizen	10	-	160
Gerste	10	-	140 (in ertragreichen Jahren auch bis 160)
Raps	5	-	80
- Feuchte [%]
- Geschwindigkeit [km/h]
- Nur volle Schneidwerksbreiten

Je nach Filtertyp werden verschiedene Punkte aus dem Rohdatensatz nicht berücksichtigt. Beispielsweise werden von allen erfassten Datenpunkten (Abb. 83a) alle herausgenommen, die nicht in den definierten Ertragsgrenzen liegen z. B. Rapserträge über unter 5 dt/ha und über 80 dt/ha (Abb. 83b). Ebenso entfallen alle Datenpunkte in Keilen, in denen die Schneidwerksbreite nicht mehr vollständig genutzt ist. Die vollständige Filterung markiert und löscht alle Werte außerhalb der vorgegebenen Filterregeln (Abb. 83c).



**Abb. 83: Filtern von Ertragsrohwerten (rote Punkte werden herausgefiltert)**

Je nach Zuschnitt der Erntefläche können so auch größere Teilflächen aus der Erfassung herausgefiltert werden.

In trockenen Jahren hat sich zusätzlich gezeigt, dass die Feuchtemessung innerhalb der Ertragserfassung auf dem Mähdrescher an ihre Grenzen stößt. Es wurde Raps mit weniger als 6 % Feuchte am stationären Messgerät erfasst, wo hingegen die Daten der Ertragskartierung zur selben Zeit Werte bis 12 % aufzeigten. Obwohl laut Herstellerangaben die Feuchtemessung bemerken kann, dass die Feuchtemessung außerhalb ihres Messbereichs arbeitet, gibt es weder im Datensatz noch während der Ernte auf dem Maschinenterminal ein Hinweis, dass die gemessenen Daten nicht valide sind.

Für den praktischen Ernteeinsatz fehlen eindeutige Hinweise, wie oft eine Litergewichtsbestimmung oder das Gegenwiegen oder eine exakte Feuchtebestimmung erfolgen sollte oder müsste, damit das System nach technischer Kalibrierung korrekt läuft.

Eine saubere Ertragserfassung erfordert insgesamt höchste Aufmerksamkeit des Fahrers. Dieser muss dahingehend geschult werden, dass er sowohl bei der Wartung, als auch beim Ernteablauf einen großen Einfluss auf die Qualität der erhobenen Daten hat.

Um einen Einfluss der Ertragskartierung auf die Versuchsergebnisse auszuschließen, wurden alle Kalibrier- und Einstellwerte auf Nebenflächen ermittelt und in den Versuchen nicht mehr verändert. Alle Varianten eines Versuchsschlags wurden möglichst direkt zu möglichst gleichen Bedingungen nacheinander geerntet.

Zu Beginn des Projektes wurde noch mit zwei Mähdreschern geerntet, von denen nur einer eine Ertragserfassung besaß. Als Kompromiss, um beide Maschinen einsetzen zu können, fuhr die Maschine ohne Ertragserfassung immer direkt neben der anderen. So wurde sichergestellt, dass nicht größere Schlagteile ohne Erfassung gedroschen wurden. Trotz dieser Maßnahme war die Interpolation der Erntedaten über die nichterfassten Flächenanteile nicht erfolgreich. Zur Ernte 2009 wurde die Maschine ohne Erfassung ersetzt, sodass beide Maschinen mit Ertragserfassung ausgerüstet waren. Trotzdem wurde versucht, beide Maschinen bei der Ernte dicht nebeneinander her fahren zu lassen, um einem Vergleich der Erfassungen zu ermöglichen und einen eventuellen Ausfall der Ertragserfassung einer Maschine notfalls ausgleichen zu können. Seit 2014 wurde nur noch mit einer Maschine geerntet.

Alle Ertragsdaten wurden auf den Maschinen auf Speicherkarten aufgezeichnet, mit der neusten Maschine zusätzlich via Telematics in der Cloud des Herstellers. Die Rohdaten auf den Karten sind binär codiert und erst nach dem Import in die Ackerschlagkartei lesbar. Dabei ist nicht klar, in welcher Weise die Daten bis zu diesem Schritt schon bearbeitet wurden. Aus der Ackerschlagkartei werden die Daten dann als Rohdatenpunkte exportiert und extern gefiltert und weiterverarbeitet.

Dieses Vorgehen stellt sicher, dass nach der Aufbereitung und Umrechnung in Flächenkarten alle Daten des Projektes auf die gleiche Weise bearbeitet wurden, in gleichen Rastern vorliegen und direkt vergleichbar sind. Eine eventuelle Änderung in der Software der Hersteller bei der Übertragung und Verrechnung der Daten hat so keinen Einfluss auf die Versuchsergebnisse.

Aufgrund der entstehenden Fehler beim Einlaufen nach dem Wenden und Wiedereinsetzen auf dem Vorgewende sind auf einigen Versuchsschlägen Flächen mit kurzen Fahrspuren aus dem Versuch herausgenommen worden.

Ein Vergleich von fertig interpolierten Ertragskarten zwischen dem erarbeiteten OFR-Standard und Karten aus der Herstellersonderware auf Grundlage identischer Rohdaten war nicht möglich, weil sich die Teilrasterflächen der jeweils erstellten Karten in Form und Größe unterschieden und so nicht in Deckung bringen ließen.

- Ertragserfassung ist nicht genau genug.
- Fahrer hat starken Einfluss auf die Qualität der Daten.
- Nachbearbeitung der Daten ist notwendig.

## 7.6 Umsetzung von Vorgabenkarten auf dem Feld

Bei allen Anwendungen ergeben sich grundsätzliche Probleme bei der Umsetzung der Vorgabenkarten. Der Sollwert aus den Vorgabekarten wird nur dort umgesetzt, wo sich die GNSS-Antenne befindet (Schleppermitte). Die Umsetzung erfolgt dann immer in der gesamten Arbeitsbreite. Eine Ansteuerung von Teilbreiten mit unterschiedlichen Mengen ist nicht möglich. Die schematische Abb. 84 verdeutlicht das.

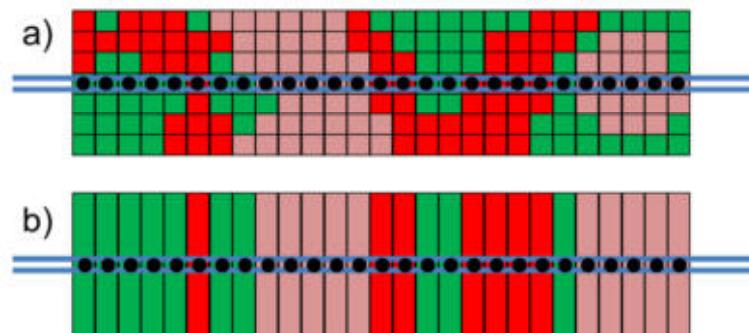


Abb. 84: Vorgabe und Umsetzung von Vorgabekarten

In Abb. 84a ist die Vorgabe in regelmäßigen interpolierten Rasterzellen dargestellt. Die blaue Fahrgasse mit den schwarzen GNSS-Punkten durchläuft nur eine einzige Rasterzellenreihe. Die tatsächliche Umsetzung über die gesamte Arbeitsbreite ist in Abb. 84b dargestellt. Die Vorgaben der durchfahrenen Fahrgasse bestimmen die Mengen über die gesamte Arbeitsbreite.

Analog wie digital werden Karten zur Orientierung grundsätzlich in Nord-Süd-Richtung eingenordet. Problematisch ist, dass die Fahrgassen in der Praxis meistens nicht in Richtung der Raster verlaufen. Vorgabenkarten werden standardmäßig durch die Software ebenfalls in Nord-Süd-Richtung angelegt. Abb. 85a. zeigt exemplarisch die automatische Ausrichtung der Vorgabenkarte bzw. ihres Rasters sowie eine mehr oder weniger schräg verlaufende Fahrgassenrichtung. Die Fahrgassenrichtung eines Schlags ergibt sich aus Arbeitseffizienzgründen. Sie sind bei der jeweiligen Schlagformen so angelegt, dass lange einzelnen Arbeitsspuren bzw. wenig Wendezonen entstehen. Die Fahrgassenausrichtung ist daher frei von Himmelsrichtungen gewählt.

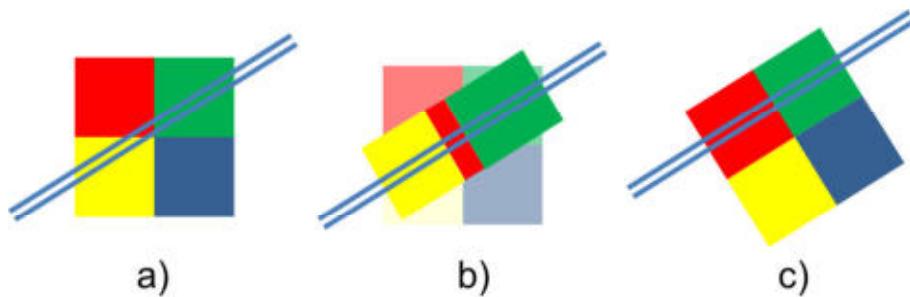


Abb. 85: unausgerichtete und ausgerichtete Raster

Die tatsächliche Umsetzung mit voller Arbeitsbreite und die Abweichungen zur Vorgabenkarte zeigt Abb. 85b. Abhilfe schafft eine an die Fahrgassenrichtung und Arbeitsbreite angepasste und ausgerichtete Rasterzelle mit der Fahrgasse in der Mitte (Abb. 85c). Dazu ist die Anlage von festen Fahrgassen notwendig. Ansonsten müssten Vorgabenkarten in jedem Jahr neu erstellt werden.

An jedem Übergang von Rasterzellen mit unterschiedlichen Werten entstehen immer auch Übergangsbereiche (Abb. 86). Die Größe dieser Bereiche hängt von der Geschwindigkeit der Dosierungsverstellung auf der Maschine und der Vorfahrtsgeschwindigkeit ab.

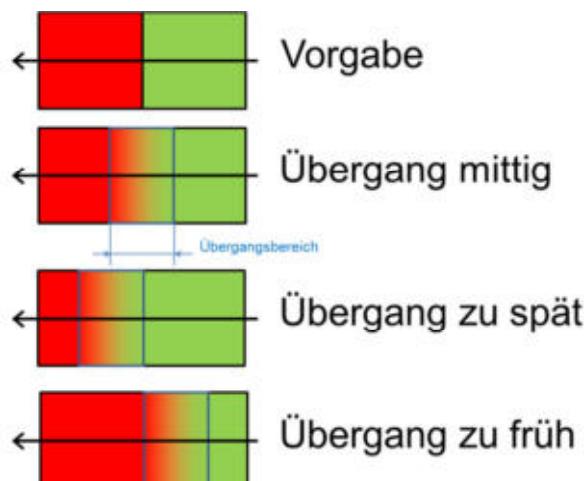


Abb. 86: Übergänge an Rastergrenzen

Durch technische Maßnahmen (errechnete Verzögerung bzw. Voreilung in der Karte) lässt sich dieser Übergangsbereich verschieben, aber nicht aufheben. Kleine Raster mit häufigen Änderungen oder eine schnelle Folge von stark variierenden Werten etwa vom Sensor bringen Dosieränderungen schneller, als die Maschine reagieren kann. Es ergeben sich Bereiche mit nicht geplanten Mengen.

### Schleuderstreuer

Unabhängig vom verwendeten Düngerstreutyp und -fabrikat wird aus der Praxis von Verzögerungen bis zu 10 Sekunden zwischen Dosierbefehl und Auftreffen des Düngers auf den Boden berichtet. Was dies für die Umsetzung von berechneten Vorgabekarten bedeuten kann, ist in Abb. 87 schematisch dargestellt. Aus der Vorgabe (Abb. 87a) würde bei einer berechneten Verzögerung von 10 s schematisch Abb. 87b herauskommen. Überlappungen zwischen den Fahrspuren sind dabei nicht berücksichtigt.

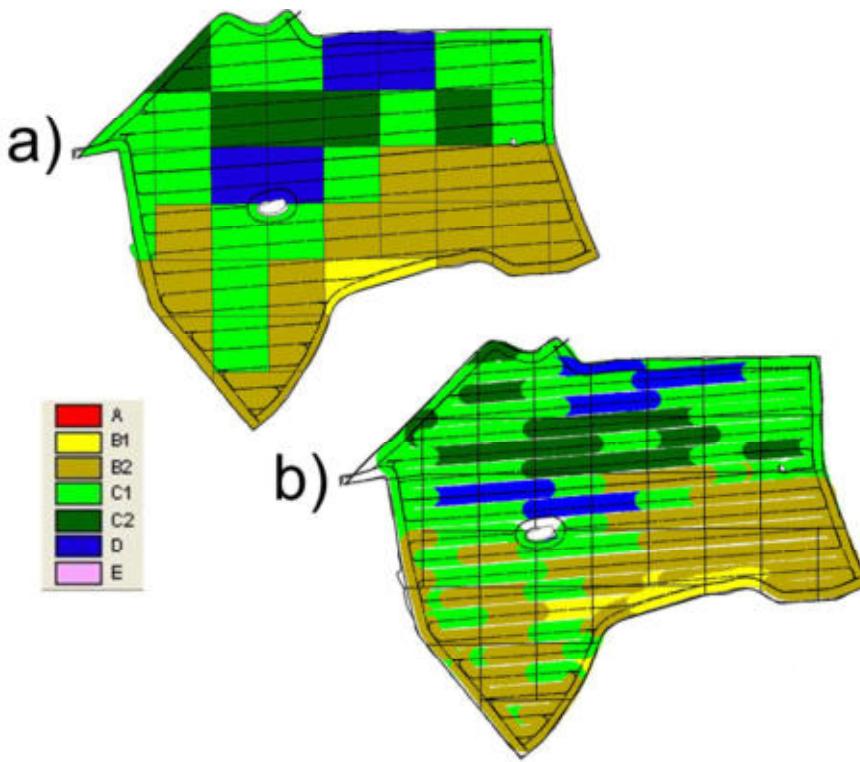


Abb. 87: a) Vorgabe und b) Umsetzung der Düngermengen bei 10 s Verzögerung.

Bei Schleuderstreuen wird eine räumlich einheitliche DüngerVerteilung technisch bedingt erst durch Überlappungen erreicht. Bei der teilflächenspezifischen Anwendung haben benachbarte Fahrgassen häufig nicht mehr den gleichen Düngerbedarf. In der folgenden Abbildung ist das schematisch dargestellt. Bei einer konstanten Anwendung wird in allen drei dargestellten Fahrgassen durch die Überlappungen die gleiche Menge ausdosiert (Abb. 88 links). Bei der teilflächigen Ansteuerung der Menge wird in jeder Fahrgasse eine unterschiedliche Menge ausdosiert, ggf. sogar nicht gestreut. Die sich aus der Überlappung ergebende Menge ist dann nicht mehr einheitlich und variiert zwischen den Fahrgassen (Abb. 88 rechts). Das Ziel der exakten teilflächenspezifischen Verteilung wird also mit dem Schleuderstreuer nicht erreicht. Mit zunehmender Arbeitsbreite nimmt der Anteil an Übergängen zu.

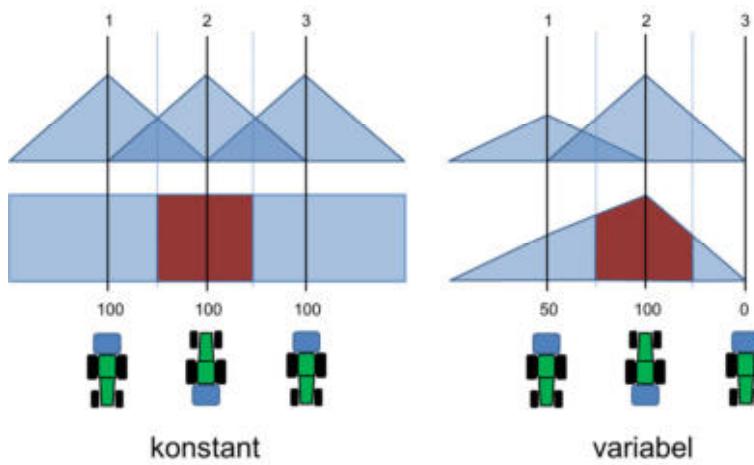


Abb. 88: Vergleich konstante Mengen zu variablen Mengen beim Streuen.

Zusätzlich zur Querverteilung rückt auch die Längsverteilung in den Fokus. An Übergängen von Teilflächen mit unterschiedlichen Mengen muss der Streuer möglichst schnell reagieren. Die auftretenden Verzögerungen waren im Projekt nicht zu erfassen.

Ein weiteres generelles Problem von Schleuderstreuen ist die großflächige Verteilung des Düngers. Vom Streuer aus wird der Dünger quasi gleichzeitig in einem Halbkreis mit einem Radius von etwa einer

Arbeitsbreite hinter und seitlich der Maschine verteilt (Abb. 89). Bei 36 m Arbeitsbreite bedeutet dies eine Fläche größer 2.000 m<sup>2</sup> als minimal mögliche Teilfläche. Die tatsächliche Verteilung des Düngers innerhalb dieser Fläche ist bisher kaum erfasst. Teststände messen meist nur die Querverteilung. Die genaue Kenntnis der Längsverteilung in der Fläche ist aber für eine Abschätzung und ggf. Ausgleich möglicher Verzögerungen notwendig. Ein Teil der Dosierungsverzögerung wird durch das „Nach-hinten-Werfen“ teilweise kompensiert.

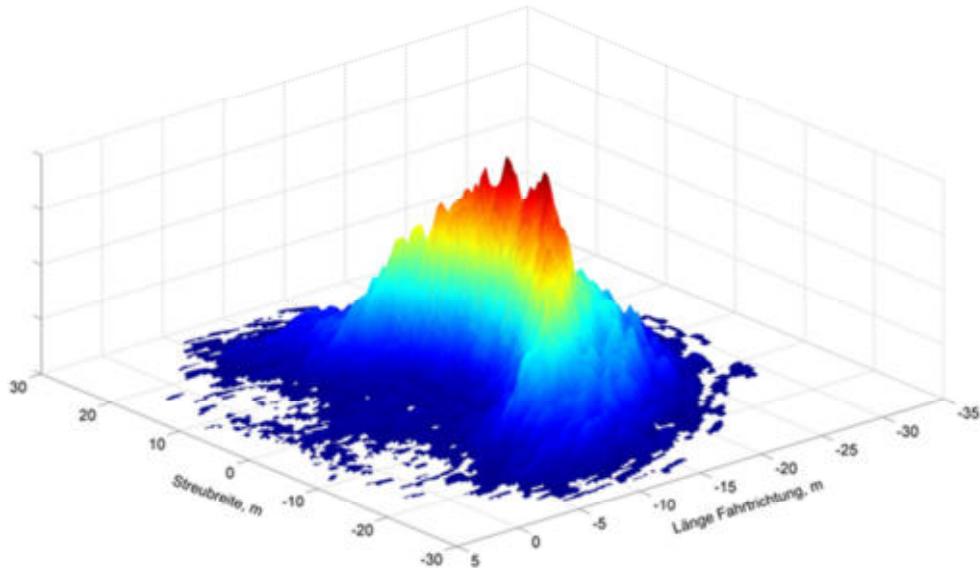


Abb. 89: 3D-Darstellung der Streuverteilung (Quelle RAUCH).

Eine Anfrage bei verschiedenen Herstellern dazu hat ergeben, dass das Hauptaugenmerk in einer einheitlichen Querverteilung des Düngers liegt. Diese ist u. a. von verschiedenen Faktoren abhängig: Kornform, Korngröße, Kornhärte, Windeinfluss, Einstellung des Streuers, Zustand der Streuscheiben. Die Längsverteilung wird für die Hersteller mit der Einführung von automatisch am Vorgewende und Keilen schaltenden Streuern zunehmend wichtig.

- Dosierungen sind zu träge.
- Schleuderstreuer begrenzen die Kleinräumigkeit von Teilflächen.
- Überlappungen führen zu ungenauen Verteilungen.

## 7.7 Rasterzellengröße und Interpolation

Ziel von Precision Farming ist die Reaktion auf Teilflächen im Schlag. Die Definition von Teilflächen beruht meist auf Messdaten. Diese Daten liegen häufig als georeferenzierte Punkte in Fahrgassen in Richtung der Bearbeitung in durch schwankende Vorfahrtsgeschwindigkeit bedingten unregelmäßigen Abständen vor. Innerhalb der Fahrgasse folgen die Datenpunkte in kurzen Abständen, zwischen den einzelnen Fahrgassen sind häufig keine Datenpunkte (Abb. 90a). Jeder Datenpunkt repräsentiert daher eigentlich ein Rechteck (Abb. 90b), für das der gemessene Wert gilt (Abb. 90c). Interpoliert, also von Punktewerten zu Flächen umgerechnet wird aber in quadratische Rasterzellen mit frei wählbarer Kantenlänge (Abb. 90d). Die so entstandenen Rasterzellen enthalten dann unterschiedlich viele Rohdatenpunkte. Schematisch ist das in Abb. 90 dargestellt.

Nach der Interpolation von Punktdaten zu einer Rasterkarte lässt sich die räumliche Verteilung der zugrunde liegenden Datenpunkte nicht mehr erkennen.

Je nach Abstand der Datenpunkte in und dem Abstand zwischen benachbarten Fahrgassen (meist Arbeitsbreite einer Maschine) entsteht ohne systematische Interpolation aus jeder Durchfahrt eine Karte mit einem eigenen Raster. Um alle Karten deckungsgleich und damit über die Jahre auswerten bzw.

vergleichen zu können, müssen alle Daten auf ein einheitliches Raster verrechnet werden. Dazu ist zu Projektbeginn pragmatisch zunächst ein systematisches 12 m x 12 m-Raster in Nord-Süd-Richtung festgelegt worden. Dieses Raster dient als Grundlage für die Erstellung von Karten für die Aussaat und Düngung und berücksichtigt nicht die technischen Umsetzbarkeit.

Ein Drehen des Rasters in Richtung der Fahrgassen weicht vom Standard in GIS-Programmen ab und ist deutlich aufwendiger. Zusätzlich können einige Maschinenterminals „gedrehte“ Rasterkarte nicht einlesen und umsetzen. Die in Abb. 90d dargestellten Rasterzellen außerhalb der Fahrgasse werden bei der Umsetzung nicht durchfahren und bleiben damit unberücksichtigt.

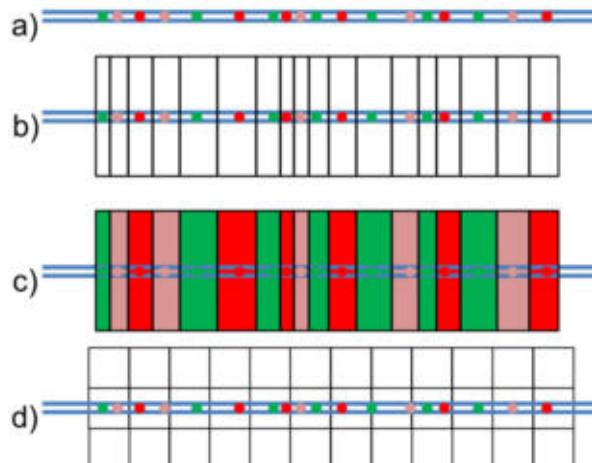


Abb. 90: Ableitung eines Teilflächenrasters aus einzelnen Messwerten

Die Interpolation von Karten lässt sich mit verschiedenen Einstellungen vornehmen. Das hat Einfluss auf das Aussehen und die Interpretation der Karten. Als Beispiel ist im Folgenden die Erstellung einer EM38-Karte aus den Rohdaten mit verschiedenen Parametern dargestellt:

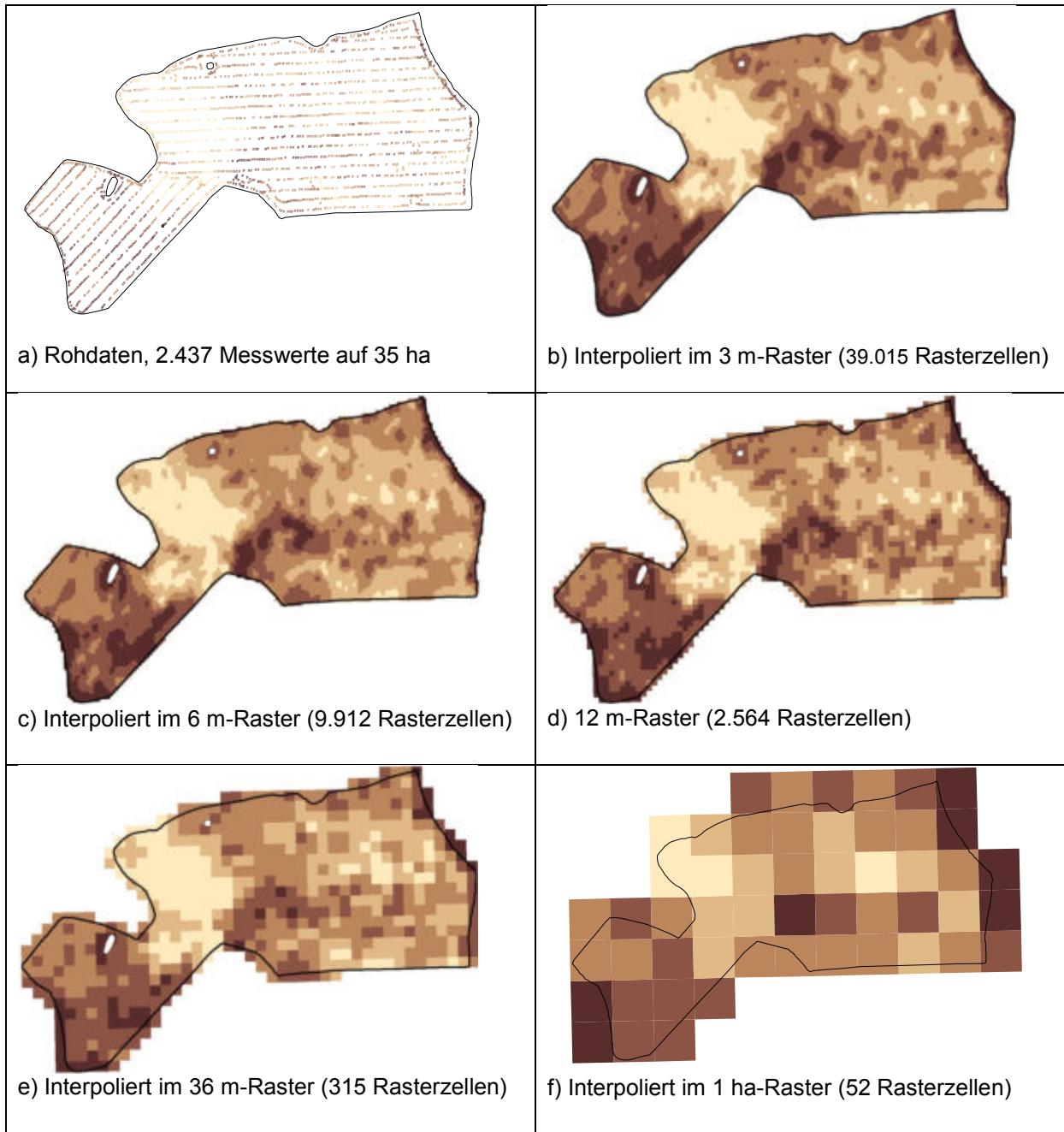


Abb. 91: Einfluss des Interpolationsrasters auf die Darstellung von Karten

Rechnerisch ist eine Interpolation auch in Raster möglich, die weit unterhalb der gemessenen Datendichte liegen (beispielsweise Abb. 91a). Diese Karten sehen für das Auge gefällig aus, Zwischenräume und Übergänge sind dann errechnet, nicht gemessen. Diese Berechnung erhöht den Rechenaufwand, vergrößert den Speicherbedarf von Karten und ergibt mehr Rasterzellen, die während der Umsetzung nicht durchfahren werden und damit anders bearbeitet als berechnet werden.

Einen weiteren starken Einfluss auf die Umsetzung von berechneten Karten hat auch eine Klassenbildung. Klassen werden gebildet, um Teilflächen mit ähnlichem Verhalten zusammenzufassen und in der Folge gleich bearbeiten zu können. Am Beispiel der EM38-Karte im 12 m-Raster (Abb. 92) lässt sich dieser Einfluss zeigen. Es werden identische Daten mit identischer Stufenfärbung ohne erneute Interpolation gezeigt. Nur die Klassenbildung unterscheidet sich.

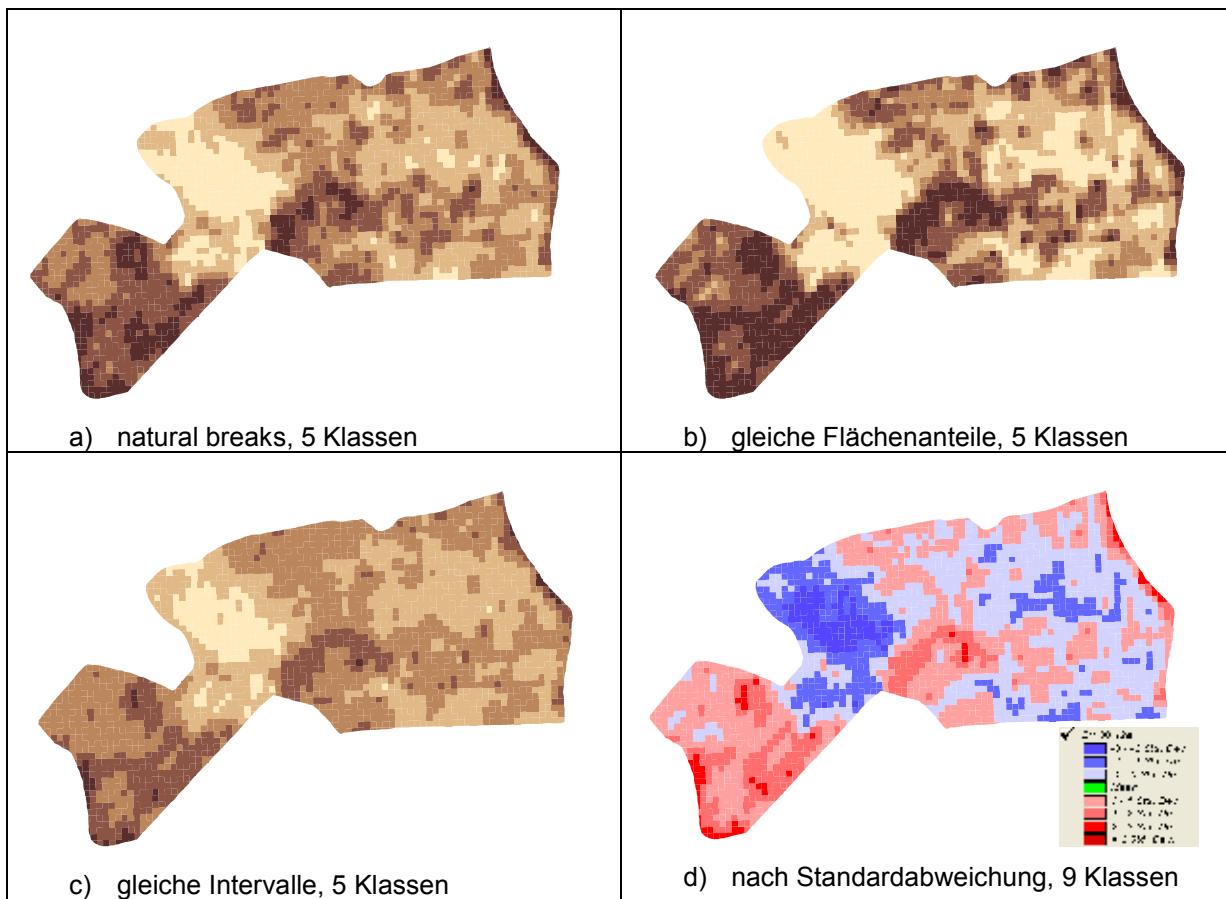


Abb. 92: Einfluss der Klassenbildung auf die Darstellung von Karten

- „natural breaks“ (Abb. 92a) betont die Varianz in den Daten durch die Bildung von Klassengrenzen an besonders starken Unterschieden in den Daten.
- „gleiche Flächenanteile“ (Abb. 92b) bedeutet, dass alle Daten auf gleich große Flächenanteile in den einzelnen Klassen verteilt werden.
- „gleiche Intervalle“ (Abb. 92c) bewirkt, dass jede Klasse gleich große Wertebereiche abbildet.
- „nach Standardabweichung“ (Abb. 92d) berücksichtigt die Abweichung vom Mittelwert. Der Mittelwert (grüne Markierung) kommt nicht vor.

Die Klassenbildung und damit die Einteilung in Zonen gleicher Bearbeitung hat je nach Klassenbildung unterschiedliche Reaktionen auf gleicher Teilflächen zur Folge.

Zur Interpolation von flächigen Karten aus Datenpunkten stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Ungeklärt ist, welches Interpolationsverfahren sinnvoll und richtig ist. Bei nur wenigen Daten in der Fläche ist eine Interpolation nicht möglich. Dann muss auf ein zugrunde liegendes Raster zurückgegriffen werden. So werden z. B. bei Bodenproben im 1 ha-Raster die Analysewerte jeder Rasterzelle ohne zusätzliche Interpolation auf die gesamte Fläche der Rasterzelle bezogen.

Zusätzlich zum Berechnungsverfahren stellt sich die Frage, welche Zonierung technisch umsetzbar ist. Die Arbeitsbreiten der Maschinen und ggf. notwendige Überlappungen bei Schleuderstreuern bestimmen die Rasterbildung. Einige Maschinenterminals begrenzen wegen eingeschränkter Speicher- und Rechenleistung die Anzahl der in einer Karte zulässigen Rasterzellen. Je nach Datengrundlage oder Fragestellung ergeben sich unterschiedliche Teilflächen auf einem Schlag. Die Zonierung nach EM38 teilt einen Schlag beispielsweise anders ein als eine Zonierung nach P-Gehalt oder nach Ertrag.

Die Bildung von Klassen beschränkt die praktische Umsetzung. Eine grobe Klassifizierung bedeutet große Sprünge an den Klassengrenzen, auch wenn die zugrunde liegenden Messwerte nur geringfügig abweichen. Unklar ist ebenfalls, welcher Unterschied in den Messwerten eine Reaktion in der Umsetzung in Vorgabewerte erfordert. Bei einigen Anwendungen hat sich die Aufgabe der Klassen angeboten. So ist beispielsweise bei der Erstellung der Ertragspotenzialkarte die Zonierung weggefallen. Dazu muss die

Umsetzung von gemessenen Werten in Vorgabewerte in einer festen Formel (meist linear) möglich sein. Ggf. müssen für eine sinnvolle Umsetzung Grenzen für Maximal- und Minimalmengen eingezogen werden, um beispielsweise bei der Düngung mathematisch richtige aber pflanzenbauliche unsinnige Düngergaben einzugrenzen.

Klassengrenzen teilen Schläge randscharf in Zonen auf. Diese Zonengrenzen lassen sich im Feld nicht erkennen.

Im Verlauf des Projekts haben sich die folgenden Rasterzellengrößen und Klassen als zielführend herausgestellt (Tab. 43):

Tab. 43: verwendete Rasterzellengrößen im Projekt

Inhalt	Datenquelle	Raster	Klassen	Ausrichtung
EM38-Karte	EM38-Messung	12 m * 12 m	5	Nord-Süd
Aussaatkarte	EM38-Karte	12 m * 12 m	3	Nord-Süd
Tiefenkarte Grubber	EM38-Karte	12 m * 12 m	3	Nord-Süd
Ertragspotenzialkarte	Erträge, Satellit	36 m * 36 m	5 bzw. ohne Klassen	Fahrgassen
Grunddüngung	Bodenproben	100 m * 100 m	Gehaltsklassen	Fahrgassen
Zonenkarte	Erträge, Satellit	wechselnd	5	Nord-Süd

## 8 Bewertung aus Sicht des landwirtschaftlichen Betriebes

### Autopiloten im Einsatz – Parallelfahrssystem

Ein wesentlicher Bestandteil von Precision Farming ist das exakte „Treffen“ der zu bearbeitenden Teilfläche. So kommt es z. B. bei der Bodenbearbeitung, der Aussaat und der Grunddüngung auf exaktes Anschlussfahren ohne nennenswerte Überlappung an. Der am Projektbeginn gestartete Versuch, dies mittels „preiswerter“ Lenkhilfe (Reibradmotor am Lenkrad) als Einstieg zu realisieren, musste schon in der ersten Saison aufgegeben werden. Unter dem gegeben Relief der Flächen auf Gut Helmstorf, die zu Nicken und Neigen der Maschinen führten, erwiesen sich die Lenkhilfen für ziel- und anschlussgenaues Fahren als völlig ungeeignet. Es musste auf Autopilot umgerüstet werden. Erst die dort installierten drei Neigungswinkelsensoren machten den Einsatz der automatischen Lenkung unter unseren Bedingungen sicher. Im Ergebnis wurden alle inzwischen angeschafften Schlepper vom Herstellerwerk aus für Lenksysteme vorgerüstet.

Ein weiteres Problem beim Einstieg in Precision Farming war die unzureichende Abdeckung mit dem GNSS-Signal für den gesamten Betrieb. Nach Norden geneigte Schläge, Waldränder, größere Baumgruppen im Schlag und Knickschatten am Vorgewende führten während der Arbeit immer wieder zu Signalausfällen und damit zum notwendigen manuellen Eingriff in das Lenkverhalten der Schlepper durch den Fahrer.

Inzwischen wurden die Lenksysteme und die RTK-Station erneuert. Diese Station ist jetzt von unterschiedlichsten Traktoren – und Mähdrescherherstellern nutzbar, was bei der alten RTK Station nicht der Fall war. Neben den amerikanischen Satelliten (GPS Navstar) nutzen sie nun auch die russischen Satelliten (Glonass) und machen den Empfang des GNSS-Signals im gesamten Betrieb relativ sicher. Parallel wurde das virtuelle RTK-Netz des Lohnunternehmerverbandes Schleswig-Holstein zum Datenempfang und Positionsbestimmung via Handynetz erprobt. Auch dieses Verfahren lief relativ zuverlässig. Zu Signalausfällen kann es lediglich kommen, wenn das Handynetz temporär überlastet ist. Dies tritt vor allem bei Betrieben in der Nähe von Großstädten und Ballungszentren auf. Zur Einsparung von Investitionskosten wurde sich für eine eigene RKT-Station entschieden. Diese wird gemeinsam mit zwei weiteren Betrieben in der Nachbarschaft genutzt. Auf mehrere Jahre gerechnet, ergibt sich so im Vergleich zur jährlichen Miete der Datenbereitstellung für mehrere Maschinen insgesamt ein geringerer Kostenaufwand. Diese Station nutzt zur Signalkorrektur nun auch die Glonass-Satelliten.

- Parallelfahren mittels Autopilot ist inzwischen im Betrieb Standard.
- die Einsatzsicherheit beim Parallelfahren hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert.
- durch die Erweiterung des Satellitenempfangs um Glonass ist der GNSS-Empfang stabiler geworden.
- Autopiloten erleichtern das Arbeiten in saisonbedingten Spitzenzeiten (z. B. Bodenbearbeitung, Aussaat) und entlasten den Fahrer bei Nacht und Nebel.
- durch genaues Anschlussfahren, ohne nennenswerte Überlappungen, konnten Einsparungen (Flächenleistung, Dieserverbrauch, Vermeiden von Doppelbearbeitung) realisiert werden. Betriebswirtschaftlich ist die Einsparung nicht erfasst worden.

### Teilflächenspezifische Grunddüngung – Bodenproben

Eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche teilflächenspezifische Grunddüngung ist die exakte Entnahme von Bodenproben und die genaue Bestimmung der Bodenart. Die Bodenprobe ist die wichtigste Grundlage für die teilflächenspezifische Grunddüngung und muss deshalb sehr sorgfältig geplant und durchgeführt werden. Dazu gehört die Entscheidung, in welchem Bodenprobenraster beprobt werden soll, um die zu bearbeitenden Teilflächen hinreichend genau zu definieren. Aufgrund von unterschiedlichen Schlämmanalysen (1-, 3- und 5 ha Raster) kamen wir auf unserem ostholsteinischen Standort zu der Überzeugung, dass das 1-ha-Raster die beste differenzierte Abbildung der Bodenart ergibt. Danach sind die Beprobungsart und die Beganglinien festzulegen und über den Beprobungszeitraum konstant beizubehalten. Nur so wird ein mehrjähriger Vergleich der Entwicklung der

Nährstoffgehalte und damit die Bewertung des Erfolges der teilflächenspezifischen Grunddüngung möglich. Dazu gehört auch, dass alle Beprobungspunkte mittels GNSS festgehalten, dokumentiert und für Folgebeprobungen wieder verwendet werden. Um die technische Umsetzung einer teilflächenspezifischen Grunddüngung sinnvoll zu gewährleisten, ist das Beprobungsraster an den Fahrgassen auszurichten. Aufgrund der großen Differenzen in der Bestimmung der Bodenart mittels Fingerprobe (VDLUFA Standard) haben wir uns trotz des hohen Kostenaufwandes für das exaktere Schlämmanalyseverfahren entschieden. Leider waren auch bei der Schlämmanalyse zwischen den Untersuchungsinstituten Abweichungen in der Einstufung der Bodenart festzustellen. Diese offensichtlich laborbedingten Abweichungen waren jedoch wesentlich geringer als bei der Fingerprobe. In Helmstorf ist infolge der Schlämmanalyse die Leitbodenart von sL (sandiger Lehm) nach IS (lehmiger Sand) umgestuft worden. Aufgrund der neuen Einstufungen wurden die Böden nährstoffseitig besser bewertet (in Anlehnung an die Richtwerte für die Düngung LK SH) als nach der Fingerprobe ausgewiesen und es konnte im Aufwand für die Düngung eingespart werden.

Die Technik zur teilflächenspezifischen Grunddüngung ist inzwischen kostengünstig umzusetzen. Sie läuft technisch stabil, jedoch führte sie entgegen der Erwartung nicht grundsätzlich zu einer gleichmäßigeren Versorgung der einzelnen Teilflächen im Vergleich zur schlageinheitlichen Düngung.

Unzureichend umgesetzt, ist immer noch die flächengenaue Düngung bei höheren Fahrgeschwindigkeiten. Hier sind die Landtechnikhersteller gefragt, reaktionsschnellere Streusysteme zu entwickeln. Nachteil der teilflächigen Düngung ist der Einsatz von Einzelnährstoffen, die oftmals teurer sind als Mehrnährstoffdünger.

- die Bestimmung der Bodenart mittels Schlämmanalyse (drei Fraktionen) ist zur exakten Bemessung des Nährstoffbedarfes in den letzten Jahren auf den gesamten Betrieb ausgedehnt worden.
- aufgrund der Heterogenität der ostholsteinischen Böden hat sich das 1-ha Raster auf den Betriebsflächen bewährt.
- Über die gesamte Projektlaufzeit konnte eine Tendenz zu einer homogeneren Versorgung der Grundnährstoffe festgestellt werden, daher wird die teilflächenspezifische Grunddüngung im Betrieb weiter fortgesetzt.

### Teilflächenspezifische Bodenbearbeitung

Für die in den Bodenbearbeitungsversuchen erprobten Mulchsaatvarianten war zu Projektbeginn eine teilflächenspezifische Ansteuerung des Grubbers zur Regulierung der Bearbeitungstiefe entsprechend der Bodengüte, des Reliefs (Hanglagen, Kuppen, Senken) und der Strohauflage (gemessen am Ertrag der Teilfläche) vorgesehen.

Ziele sind:

- eine bodenschonende, an die Bodenart angepasste Bearbeitung
- eine Steigerung der Flächenleistung
- eine Senkung des Dieselverbrauchs
- weitere positive Ertragseffekte

Der sich zu Projektbeginn im Einsatz befindliche Centaur der Fa. Amazone konnte wegen seines komplizierten Hydrauliksystems die Ansteuerung über eine Offlinekarte nicht umsetzen. Der verwendete Körckerling Vector ließ sich aufgrund technischer Probleme in den ersten drei Versuchsjahren auch unter Verwendung von Offlinekarten nicht in der Bearbeitungstiefe ansteuern. Erst nach der Behebung eines Fehlers in der Erprobungssaison 2015 war eine Ansteuerung möglich, konnte aber wegen eines technischen Schadens zwischen Schlepper und Grubber nicht endgültig umgesetzt werden. Da das Projekt kurz vor dem Abschluss stand, und die Zeit für eine mehrjährige objektive Erprobung nicht mehr ausreichend war, konnte der Versuch nicht weiter verfolgt.

## Teilflächenspezifische Aussaat

Dieses Verfahren gehört seit Versuchsbeginn zum Erfolgsmodell der Erprobung teilflächenspezifischer Produktionsverfahren im Betrieb und wird bis heute flächendeckend eingesetzt. Die Technik für die teilflächenspezifische Aussaat ist heute kostengünstig umsetzbar. Sie läuft stabil und führt zu einer verbesserten Verteilung der Saat innerhalb der Fläche. Bei einer an die Bodengüte angepassten Saatmenge steigen die Aussaatkosten. Die technische Umsetzung der teilflächenspezifischen Aussaat mittels vorbereiteter Offline(Aussaat)karten und GNSS entlastet den Fahrer von der sonst üblichen gelegentlichen Ansteuerung der Saatmenge über die Plus-Minus-Taste über den gesamten Arbeitstag. Die Anpassung an die optimale Aussaatmengenabstufung hat drei Jahre benötigt. Für unseren Betrieb bei normalen Aussaatbedingungen hat sich eine Abstufung von 100/130/170 % bewährt. Unter nicht optimalen Aussaatbedingungen müssen die Aussaatmengen zwingend angepasst werden.

Aufgrund der Umstellung des Fahrgassensystems von 24 auf 36 m musste eine neue Lösung für die Schneckenkornausbringung gefunden werden. In Eigenentwicklung wurde dieses Problem mittels eines an die Väderstad-Drille angebauten Schneckenkornstreuers gelöst. Parallel zur Aussaat wird die Schneckenkornausbringung über die Aussatkarte nur an die schweren, in der Regel unmittelbar vom Ackerschneckenbesatz betroffenen Teilstücke gekoppelt. Das erspart die bisher übliche ganzflächige Schneckenkornausbringung und entlastet damit die Umwelt und den Geldbeutel. So liegen die Ausbringungskosten mit diesem Verfahren bei 0,88 €/ha im Vergleich zu 1,77 €/ha mit einem Schneckenkornstreuer auf einem Quad oder dem früher im Einsatz befindlichen Verfahrens mittels Schleuderstreuer für 5,66 €/ha. Trotz der bedarfsgerechten Schneckenkornverteilung ist eine Nachkontrolle des Schneckenbesatzes weiterhin unerlässlich.

## Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung

Ein Kernstück der Erprobung teilflächenspezifischer Bewirtschaftungsverfahren ist die an den Bedarf des Pflanzenbestands angepasste Stickstoffdüngung mittels Sensoren. Bei konsequenter Anwendung ist dies ein sehr anspruchsvolles Verfahren. Dabei haben die ersten Projektjahre (2008 – 2012) gezeigt, dass der alleinige Online-Ansatz (aktiver Yara-N-Sensor), der die N-Düngung alleinig über Biomassemessungen per Sensor einen N-Bedarf ermittelt, unter den Bedingungen in Helmstorf nicht erfolgreich war. Das ist inzwischen auch ein Erfahrungsschatz von mehreren Praktikern und Meinung fast aller Anbieter von anderen Sensorlösungen.

Die mit diesem Verfahren assoziierten Ziele, wie

- Ertragsteigerung mit angepasstem N-Aufwand,
- Reduzierung des N-Aufwandes durch Homogenisierung des Bestands,
- erreichen sonstiger, weiterer produktionstechnischer Verbesserungen wie z. B. Lagervermeidung, Ernteerleichterung, Qualitätsverbesserungen
- verbesserte, geringere N-Bilanzen
- wirtschaftlichere Lösung im Vergleich zu „Betriebsüblich konstant“ und im Projekt erprobter einfacher N-Düngungsstrategien (Einmal-/Zweimaldüngung)

konnten unter den Anbaubedingungen in Helmstorf nicht erreicht werden.

So wird z. B. über die teilflächenspezifische Aussaat schon ein weitgehend an die Anbaubedingungen angepasster Bestand erreicht, der kaum noch Regelbedarf bezüglich N-Düngung mittels Sensor im alleinigen Onlineverfahren signalisiert. Bereits vor Projektbeginn wurden manuelle Variation der Aussaat- und Düngemengen vorgenommen, um möglichst optimale Bestände zu etablieren.

Durch die Hinzunahme von Ertragspotenzialkarten zum Online-System wurde ein Fortschritt hinsichtlich einer noch gezielteren Düngung erwartet, deshalb wurde ab 2013 auf das Isaria-System der Fa. Fritzmeier umgestellt.

Je nach Sensorsystem muss der Sensoreinsatz intensiv geplant und überwacht werden. Der Anwender sollte wissen, wie das System arbeitet und welche Folgen dabei die Veränderungen einzelner Parameter in den Einstellungen des Sensors haben. Alle Informationen über eingestellte Parameter und die tatsächlich applizierten Mengen müssen nach der Applikation umgehend abrufbar sein. Die

kontinuierliche Hilfe eines Dienstleisters wird in der Regel nötig sein und verteuert die Anwendung. Die Erprobung im Betrieb zeigt, dass die Entwicklung dieser Technik und des Kartenmaterials noch lang nicht abgeschlossen ist. Die derzeit noch notwendigen diversen Testfahrten mit verschiedenen Parametern und Rücksprachen mit dem Kartendienstleister und Sensorherstellern sind für alle Seiten nicht praktikabel. Wenn ein Sensor im Betrieb vorhanden ist, kann die N-Aufnahme im Raps über die gewachsene Biomasse zu Vegetationsende für die gesamte Rapsfläche erfasst, und damit der optimale N-Bedarf im Frühjahr ermittelt werden. Dieses Verfahren wird seit dem Jahr 2012 in unserem Betrieb praktiziert. Seit dem Rückzug der Fa. Fritzmeier aus dem laufenden Projekt zur dritten Stickstoffgabe im Frühjahr 2016 musste der Einsatz des N-Sensors leider eingestellt werden.

- Da im Betrieb mit dem Einsatz des N-Sensors (alleiniges Onlineprinzip) bisher keine wirtschaftlichen Mehrerträge, keine Vorteile im N-Aufwand und in der N-Bilanz erzielt wurden, ist der Einsatz im Betrieb nach 2012 eingestellt worden.
- Anschließend setzen wir die Hoffnung auf ein erfolgreicheres Verfahren aus der Kombination von Online-Ansatz und Einbindung von Ertragspotenzialkarten (Map-Overlay) zur Bemessung optimaler teilflächenspezifischer Stickstoffmengen.
- Auch bei dem Isaria-System waren für den Betrieb keine wirtschaftlichen Mehrerträge zu generieren und es konnte keine Verbesserung der N-Effizienz einschließlich des N-Saldos erreicht werden. Somit wird der Isaria im Betrieb nicht weiter eingesetzt. Der Isaria-Sensor findet zukünftig nur noch Anwendung für die Bestimmung der Biomasse im Raps zu Vegetationsende.
- Automatisierte Rückschriebe aus jeder Durchfahrt – Vergleich der Empfehlungskarte mit der tatsächlichen Applikationskarte des Düngerstreuers – sind ein unverzichtbares Werkzeug zur Kontrolle der erfolgreichen technischen Umsetzung teilflächenspezifischer N-Düngung.
- Das zielgenaue Treffen der Rasterzelle bei höheren Geschwindigkeiten stellt bei beiden Systemen ein noch nicht gelöstes Problem dar.
- Zukünftig stellt sich die Frage, inwieweit satellitengestützte Düngekarten Einsatz finden können, um den Precision-Farming-Ansatz im Betrieb weiterzuentwickeln.

### Ertragskartierung

Eine Erfolgskontrolle teilflächenspezifischer Produktionsverfahren ist durch den Praktiker nur anhand einer zuverlässigen Ertragskartierung aus dem Mähdrescher möglich. Ertragserfassungssysteme sind in größeren Maschinen inzwischen Serie. Diese Systeme messen unterschiedlich genau und müssen sorgfältig kalibriert werden. Die genaue Erfassung von teilflächenspezifischen Erträgen dient nicht nur der Erstellung von Ertragskarten, sondern ist vor allem Grundlage für Folgeanwendungen. Hier gibt es noch erheblichen technischen Entwicklungsbedarf vonseiten der Anbieter.

Außerdem gibt es unabhängig von der verwendeten technischen Basis immer noch keinen abgestimmten Ertragskartenstandard zwischen den Anbietern. Das ist für eine Bewertung des Erfolges aus der Sicht des Praktikers jedoch unabdingbar. Vergleiche müssen möglich sein.

- Nicht alle im Projekt erprobten Verfahren des teilflächenspezifischen Acker- und Pflanzenbaus waren bisher erfolgreich. Neben der Vermittlung moderner Produktionsverfahren für den Landwirt in Schleswig-Holstein, geht es im Projekt u. a. auch darum, Anwender vor Fehlinvestitionen in Precision-Farming-Lösungen zu bewahren. Erfolgreich konnten die teilflächenspezifische Aussaat und der Einsatz von Autopiloten erprobt werden. Die Ergebnisse der teilflächenspezifischen Grunddüngung waren noch nicht zufriedenstellend. Dennoch wurde Potenzial erkannt, sodass an diesem Thema über Projektende hinaus im Betrieb weiter gearbeitet wird.
- Zwingenden „Nachholbedarf“ vonseiten der Hersteller und anbietenden Dienstleister gibt es in Sachen teilflächenspezifische N-Düngung, teilflächenspezifische Bodenbearbeitung und Ertragskartierung. Hier sind in Zukunft für die Praxis umsetzbare, kostengünstige, zuverlässige und validierbare Lösungen gefragt.

- Eines bleibt für den Praktiker zu fordern: Er sollte zwingend den Erfolg solcher teilflächenspezifischen Lösungen beim Hersteller, Anbieter und Dienstleister hinterfragen und sich diesen demonstrieren lassen, und das anhand validier Versuchsergebnisse! Der Anwender selbst ist im Produktionsablauf nicht mehr in der Lage, dies zu kontrollieren. Unabhängige Erprobungen die zu validen Ergebnissen führen, können nur aufwendige Großversuche unter Praxisbedingungen leisten.

## 9 Fazit

Mit den Ausführungen und Auswertungen konnte gezeigt werden, dass das Projekt der Landwirtschaftskammer auf Gut Helmstorf in einer Vielzahl von Bereichen der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung Fragen beantwortet, aber auch neue Fragen aufgeworfen hat. Für die praktische Landwirtschaft konnten zahlreiche Empfehlungen abgeleitet werden.

Zu Beginn des Projektes ging man davon aus, dass die verfügbare Technik problemlos funktionsfähig ist und ohne eine größere Vorlaufphase auf den Projektflächen eingesetzt werden kann. Es hat sich aber gezeigt, dass es noch erhebliche Defizite bei der technischen Umsetzung gibt. Insbesondere die Verzögerungen bei den Dosiereinheiten stellen ein großes Problem dar. Auch die elektronischen Komponenten zeigten sich zu Beginn noch anfällig. Einzelne Verfahren scheiterten sogar an der mangelnden Kompatibilität der einzelnen Komponenten.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass viele notwendige Grundlagen kaum oder gar nicht vorhanden oder umgesetzt werden. So ist die Erfassung grundlegender Parameter, wie die Bodenartbestimmung oder die Ertragserfassung noch immer nicht präzise genug, um darauf aufbauende Verfahren sicher zu etablieren. Viele angebotene Lösungen sind bisher nicht unabhängig getestet worden und stellen für den Anwender nur bedingt einen Fortschritt dar. Eine notwendig erscheinende technische Fortentwicklung bestehender Systeme (u. a. Dosierung, Ertragserfassung) seitens der Anbieter ist kaum zu erkennen. Einzig bei der Entwicklung von Schleuderstreuersystemen zum Schalten an Vorgewenden ist eine Fortentwicklung zu erkennen. Leider entfernen sich Entwicklungstrends der letzten Jahre immer weiter von den Problemen bei der eigentlichen Anwendung.

Die Anforderungen an den Bediener sind bisher eher gestiegen und erfordern zur sicheren Anwendung zunehmend Zeit. Zudem wird einerseits die Kenntnis der Grundlagen und Strategien vorausgesetzt, andererseits aber auch die Anwendungen immer komplexer. Somit entsteht eine Art „Blackbox“, in der dem Anwender die Möglichkeit genommen wird, Entscheidungen zu hinterfragen oder nachzuvollziehen. Einige Lösungen scheinen nur unter den lokalen Gegebenheiten zu funktionieren, unter denen sie auch entwickelt wurden.

Die Nutzung neuer computer-basierter Techniken erfordert ein breites technisches Basiswissen und einen sicheren Umgang mit EDV. Verfahren scheitern häufig für viele Nutzer schon vor dem eigentlichen Feldeinsatz wie etwa an inkompatiblen Datenformaten oder am fehlenden Zusammenspiel von Komponenten verschiedener Hersteller. Herstellerübergreifende Hilfe ist praktisch nicht verfügbar.

Daten sollten zusammengeführt und sinnvoll verknüpft werden. Wobei aber das Speichern von Daten auf nicht lokalen Speichern (z. B. auf Herstellerportalen) neue Fragen nach Zugriffsrechten und Datensicherheit aufwirft.

Insgesamt erscheint es sinnvoll, das Projekt fortzuführen und nach der ersten Projektphase ab 2017 neu auszurichten. Hierbei sollten sicherlich weiterhin Aspekte der teilflächenspezifischen N- Düngung im Hinblick auf steigende Anforderungen der Düngeverordnung eine wichtige Rolle spielen. Aber auch die Etablierung von teilflächenspezifischen Bodenbearbeitungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen erscheint nach dieser ersten Zwischenbilanz zukünftig sinnvoll. Weitere Empfehlungen werden im folgenden Kapitel gegeben.

Die grundlegenden Erkenntnisse des OFR-Projektes auf Gut Helmstorf:

- Der OFE Ansatz ist geeignet, um Bewirtschaftungssysteme unter praktischen Bedingungen auf Ebene eines landwirtschaftlichen Betriebes zu prüfen.
- Lenksysteme sind praxisreif und können den Fahrer entlasten.
- Teilflächenspezifische Bodenbearbeitung konnte nicht etabliert werden.
- Teilflächenspezifische Grunddüngung trotz technisch bedingter Unschärfen im Betrieb etabliert.
- Dosiereinrichtungen der Düngerstreuer sind zu träge, um kleinräumige Bedarfsunterschiede auszudosieren.
- Bei Schleuderstreuern entstehen im Überlappungsbereich zusätzliche Ungenauigkeiten für eine teilflächenspezifische Düngung.
- Für die Bodenartbestimmung müssen verlässliche Vorgaben gemacht werden, um eine standortangepasste Grunddüngung mit Kalium, Magnesium und Kalk durchführen zu können.

- Eine teilflächenspezifische Aussaat zur Etablierung von an den Standort angepassten Pflanzenbeständen ist möglich, aber mit höheren Saatgutaufwendungen verbunden.
- Direktsaatverfahren sind unter den Standortbedingungen von Gut Helmstorf nur schwer zu etablieren und mit wirtschaftlichen Nachteilen verbunden.
- Strip Drill führte im Wintergetreide nach dem vorausgegangene Rapsweizen zu einer leicht höheren Wirtschaftlichkeit. Im Raps und im Rapsweizen lag sie hinter den etablierten Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren. Jedoch ist die Anschaffung einer zusätzlichen Drilltechnik nur für den Stoppelweizen oder die Wintergerste aufgrund der gegenwärtigen gesamten ackerbaulichen Rahmenbedingungen bzw. den daraus resultierenden wirtschaftlichen Gründen eher unwahrscheinlich.
- Die geprüften Düngungsvarianten hatten bei Winterweizen und Wintergerste keinen Einfluss auf den Ertrag. Tendenziell resultierte eine Einmaldüngung in geringeren Rohproteingehalten bei Winterweizen. Auch für Raps zeigen die Ergebnisse der Großflächen keine Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten im Versuchszeitraum.
- Yara-N-Sensor: Transit-Stickstoff kann nicht berücksichtigt werden, daher neigt der Sensor zu überzogenen N-Einzelgaben und Gesamtmengen. Raureif und Tau verhindern den Sensoreinsatz. Der Sensoreinsatz hat keine wirtschaftlichen Vorteile.
- Isaria-Sensor im Map-Overlay-Verfahren: Keine Standards für und ungewisse Stabilität der Ertragspotenzialkarten erschweren eine teilflächenspezifische N-Düngung im Online mit Map-Overlay-Verfahren. Momentan ist ein Einsatz dieses Verfahren nur in der Kernfläche des Feldes sinnvoll. Zusätzlich neigt das absolute Modul zu überzogenen N-Einzelgaben und Gesamtmengen. Ebenfalls verhindern auch bei diesem System Tau und Raureif einen Technikeinsatz. Wirtschaftlich ist auch dieser Ansatz mit keinen Vorteilen gegenüber der Betriebsüblichen bzw. Einmal/Zweimaldüngungsvariante verbunden.
- Die geprüften Sensoren haben im Mittel der Versuchsjahre zu keiner Absenkung der N-Salden geführt.
- Die bisher angebotene Ertragserfassung ist nicht exakt genug, um daraus Ertragspotenzialkarten für eine teilflächenspezifische Düngungskarte zu entwickeln. Mangels Alternativen werden die Daten weiterhin Grundlage bleiben müssen.
- Aus Sicht des Praktikers besteht insbesondere ein Nachholbedarf bei der teilflächenspezifischen N-Düngung, Bodenbearbeitung und der Ertragskartierung. Der wirtschaftliche Vorteil sowie der umweltseitige Nutzen von teilflächenspezifischen Bewirtschaftungskonzepten sollte auf Grundlage von unabhängigen Großflächenversuchen nachgewiesen werden.
- 10 Jahre OFR-Projekt werfen die Frage auf, ob neue Technologien ungeprüft ihrer Reife und Qualität als Maßstäbe zukünftigen Handelns pauschalisiert werden sollten. Komplexe pflanzenbauliche Zusammenhänge sind pauschalisiert nicht über Algorithmen erklärbar, vorhersagbar und steuerbar. Sie stellen stetig zu hinterfragende Hilfsmittel dar.

## 10 Empfehlungen und Ausblick

Aus den bisherigen Ergebnissen des Projektes und den momentan in der Landwirtschaft bzw. der Gesellschaft diskutierten Sachverhalten gibt das Autorenteam im Folgenden Vorschläge für die mögliche Weiterführung eines solchen Projektes. Diese Empfehlungen werden kurz skizziert und sollen als Diskussionsgrundlage für den zukunftsfähigen Umgang mit „Landwirtschaft 4.0“, u. a. adressiert an die Politik, dienen. Die Vorschläge sind in die Kategorien eingeteilt:

### Weitere Auswertungen der vorhandenen Daten/Ergebnisse

#### - Geostatistische Auswertung

Die einzelnen Teilflächen auf den Versuchsschlägen können mit den Daten aus der georeferenzierten Ertragserfassung und der Berechnung der auf jeder Teilfläche gefallenen N- und Grunddüngergaben verknüpft werden und somit weitergehende Aussagen zur Ertragsbildung einer einzelnen Teilfläche getroffen werden. Neben den reinen Ertragsdaten wurden eine ganze Reihe weiterer Daten (z. B. Geschwindigkeit oder Auslastung) mit aufgezeichnet. Es ist zu prüfen, ob zwischen den Varianten ein Unterschied festzustellen ist. Besonders interessant ist die immer wieder angemerkt Steigerung der Durchsatzleistung der Mähdrescher durch die angestrebte Homogenisierung der Bestände bei einem Sensoreinsatz.

#### - Stabilität von Ertragspotenzialkarten

Ein hoher Anteil an Teilflächen mit hoher Stabilität in Hoch- und in Niedrigertragsbereichen scheint für eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung wesentlich. Nur hier lässt sich der relative Stickstoffbedarf vergleichsweise sicher vorhersagen, sodass die Anwendung nach Online mit Map-Overlay sinnvoll ist. Durch die jährliche Fortschreibung der Ertragspotenzialkarten könnten sich aus dem Datenmaterial der Projektschläge über mehrere Jahre Schlagteile identifizieren lassen, deren Ertragsfähigkeit nur in geringem Maße schwankt und damit als stabil angesehen werden können. Unklar ist derzeit, welche Daten, welche Berechnung und wie viele Jahre zur sicheren Identifizierung dieser Schlagteile notwendig sind. Anhand von Auswertungen ließe sich auch das Potenzial der Sensordüngung nach Online mit Map-Overlay besser verstehen. Nach eigenen Ansätzen berechnete Karten liefern bisher kaum stabile und damit für eine Vorhersage nutzbare Ertragszonen.

#### - Ertragskorrelation mit Sensordaten

In Verbindung mit einer Vermessung der Schläge mittels Sensoren in einem fortgeschrittenen Wachstumsstadium wird berichtet, dass diese Daten schon die spätere Verteilung des Ertrages auf den Teilflächen widerspiegeln. Damit könnten die Unsicherheiten aus der Ertragserfassung auf dem Mähdrescher ausgeglichen und vielleicht eine bessere Grundlage für Ertragspotenzialkarten geschaffen werden. Vorhandene Messungen zur dritten Stickstoffgabe und vorhandene Ertragskarten können dazu herangezogen werden. Eventuell ist ein später Scandurchgang nach der Blüte notwendig.

### Weiterführende Untersuchungen/neue Ansätze

#### - Auswertung Reichsbodenschätzung

Die Reichsbodenschätzung wird als Grundlage für die Erstellung von Beprobungsrastern zur Grundnährstoffuntersuchung gesehen (Hofbodenkarte). Auf heterogenen Standorten sollen sich über die Bodeninformationen für präzise Grunddüngung die Probenanzahlen reduzieren lassen. Gegenüber einem intensiveren Beprobungsraster sind Probenahme und Untersuchung für die teilflächenspezifische Grunddüngung kostensparender zu gestalten. Ungeklärt ist, inwieweit die flächendeckend vorhandenen Bodendaten dieser Zielsetzung dienen können. Außerdem steht die Reichsbodenschätzung bei der

Erstellung von Ertragspotenzialkarten im Focus. Inwieweit sie sich zum Identifizieren von spezifischen Teilflächen eignet, ist derzeit noch wie vor ungeklärt.

- Bodenuntersuchungen auf den Bodenbearbeitungsvarianten

Die Intensität der Bodenbearbeitung hat in der Regel einen maßgeblichen Einfluss auf die Bodeneigenschaften. Die im OFR-Projekt geprüften Bodenbearbeitungssysteme sind mit dem Jahr 2017 nunmehr seit 10 Jahren etabliert. Es ist anzunehmen, dass sich systembedingte Unterschiede in den bodenphysikalischen (u. a. Porenstrom, Eigenstabilität) und -biologischen (u. a. Aktivität von Bodenlebewesen) Eigenschaften etabliert haben. Entsprechende Untersuchungen in Zusammenarbeit mit bodenkundlichen Instituten und Forschungseinrichtungen hätten vorhandene Differenzierungen zeigen können. Die Versuche sind inzwischen eingestellt und die Parzellen umgebrochen worden.

- N-Prognosemodell der CAU Kiel

Die Universität Kiel hat in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen und anderen Versuchsanstalten im Bundesgebiet ein N-Prognosemodell für Winterweizen, insbesondere für die dritte N-Gabe entwickelt. Dieses Modell steht auf der ISIP-Plattform bundesweit für die Bemessung der N-Düngung zu Winterweizen zur Verfügung. Vergleichende Untersuchungen haben gezeigt, dass mit dem Modell im Mittel der Jahre ca. 10 kg N/ha im Vergleich zur N-Sollwertmethode eingespart werden können. Im Hinblick auf die Einhaltung von zukünftigen Vorgaben der Düngerverordnung sind Einsparungen auch in dieser Größenordnung u. U. bedeutsam. Für die Landwirtschaftskammer wäre zunächst die Erprobung bzw. Anwendung des Modells im Rahmen eines Großflächenversuchs interessant. In einem weiteren Schritt könnte die Nutzung, Integrierung bzw. Anpassung dieses Modells auch bei einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung erprobt werden.

- Drohnen/Fernerkundung/Ertragsvorhersage mit Sensordaten

Die immer preiswertere und einfacher einsetzbare Technik von unbemannten Fluggeräten und Drohnen ermöglichen einen schnellen „Blick von oben“ auf die Schläge zu interessanten Terminen ohne den Einfluss von Bewölkung. Es treten zunehmend Dienstleister auf, die aus den gewonnenen Bilddaten Handlungsstrategien für den Landwirt ableiten. Welche Strategien hier erfolgversprechend sind, ist völlig ungeklärt. Die Dronentechnik gilt dabei aber nur als Brückentechnologie. Die Erweiterung bestehender Satellitensysteme um eine neue Generation (Sentinel) mit höheren Auflösungen und häufigeren Überfliegungen in Verbindung mit der kostenlosen Abgabe von Bildern und Spektraldaten ermöglicht auch hier eine Vielzahl neuer Strategien und Dienstleistungen.

- „Big Data“

Große Prozessdatenmengen sollen gesammelt, verknüpft und ausgewertet werden. Auf der Grundlage ist übergreifende prozess- und produktionstechnische Beratung geplant. In diesem Prozess „lernt“ das System durch jeden zusätzlichen Datensatz hinzu. „Big Data“ stellt also einen dynamischen Ansatz dar. Welches Potenzial die Auswertung von großen Datenmengen den einzelnen Landwirten und seiner betrieblichen Entwicklung bietet, ist derzeit offen. Ein großer Teilnehmerkreis bzw. eine große Teilnahmefläche ist dafür förderlich. Inwieweit betriebliche Daten indem Zusammenhang durch den bestehenden Datenschutz geschützt sind, wäre zu klären. Durch Firmenportale (z. B. Grunddüngungsanwendung, Sensoranwendung, Ackerschlagkartei, 365 FarmNet) im Rahmen von Precision Farming Anwendungen findet bereits ein Sammeln von Daten statt. An Big Data werden teilweise große Erwartungen geknüpft. In diesem Bereich könnte die Kapazitäten aufbauen, um Potenziale neuer Möglichkeiten zu bewerten und langfristig eine unabhängige Beratung bieten zu können.

- Herbstscan für teilflächenspezifische Stickstoffreduktion über Streukarten im Raps

Raps ist im klassischen Marktfruchtbau eine der Kulturen mit den höchsten N-Bilanzsalden sowie mit hohen Anbauanteilen in den Fruchfolgen. Die Universität Kiel entwickelte einen Algorithmus zur teilflächenspezifischen Stickstoffreduktion im Winterraps auf Basis von Herbstscans. Im Vergleich zum Betrieb brachte die teilflächenspezifische Reduktion keinen signifikanten Ertragsabfall, im Gegensatz zur flächeneinheitlichen Reduktion um dieselbe mittlere N-Menge je Hektar. Die Betriebe erreichen heute auch bei guter Produktionstechnik kaum das geforderte N-Bilanzsaldo von 50 kg N/ha. Die Einführung des Algorithmus in die Praxis könnte auch wirtschaftlich sinnvolle Stickstoffreduktionen bewirken. Überbetrieblicher Sensoreinsatz hält dabei die Investitionskosten für die Betriebe im Rahmen, auch kleine Ackerbaubetrieb könnten von der Lösung profitieren. Offen ist, wie der Praktiker aufgrund der unterschiedlichen Sensorsysteme auf den Betrieben und deren unterschiedlichen Indizes ohne genaue Kenntnisse zum jeweiligen Vegetationsindex eine teilflächenspezifische Reduktion kalkulieren kann. Parallele Erprobungen zur Bodenfruchtbarkeit, dem langfristigen Erhalt von Ertragsfähigkeit sollten auch auf sensorreduziert gedüngten Flächen durchgeführt werden.

- Tiefensteuerung Grubber

Mit der technischen Einsatzsicherheit des Grubbers können verschiedene Tiefenführungsstrategien oder Sensoren überprüft werden. Die Kartenerstellung nach verschiedenen Ansätzen und die Überprüfung verschiedener Strategien sind derzeit noch offen.

- Programm zu Berechnung der Grunddüngung

Die Umsetzung der Vorgaben für eine teilflächenspezifische Grunddüngung ist derzeit nur manuell möglich. Mit zunehmender Kleinräumigkeit der Beprobung etwa im 1 ha-Raster erscheint eine automatisierte Berechnung der Vorgaben unter Berücksichtigung von Teilmengen aus verschiedenen Düngerformen (etwa dem Schwefelanteil in PK-Dünger) sinnvoll.

- Teilflächenspezifischer Pflanzenschutz

Der teilflächenspezifische Pflanzenschutz ist im bisherigen Projekt nicht umsetzbar gewesen. Eine unabhängige Überprüfung angebotener Handlungsstrategien bei Wachstumsreglern und der automatischen Beikrauterkennung erscheinen sinnvoll. Die verfügbare Technik hat sich seit Projektbeginn erheblich entwickelt. So sind z. B. Spritzen mit Sensoren für jede Teilbreite verfügbar.

## 11 Publikationen und Öffentlichkeitsarbeit

### Publikationen:

- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2012): On Farm Research – ein Gemeinschaftsprojekt der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein und der Gutsverwaltung Helmstorf. IN: Deutsche Region der Internationalen Biometrischen Gesellschaft (IBS-DR), On-Farm-Experimente 11-2011, 114–134
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2012): Grunddüngung durch Precision Farming genauer? IN: TOP AGRAR 11-2012, 60–63
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2013): N-Sensor im praktischen Einsatz – Was bringt die teilflächenspezifische N-Düngung wirklich? In: TOP AGRAR 2-2013, 40–48
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2013): Precision Farming in der Praxis – Ergebnisse zur teilflächenspezifischen Grunddüngung. In: Bauernblatt 1-2013, 46–52
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2013): Erfahrungen aus dem On-Farm-Research-Projekt zur teilflächenspezifischen Saatmenge. In: RKL-Rundbrief, 1-2013, 2–3
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH (2013): Die exakte Bestimmung der Bodenart ist unerlässlich. In: Landwirtschaftliches Wochenblatt Hessen, Rheinland-Pfalz 3-2013, 25–27
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2013): N-Sensor im praktischen Einsatz – Was bringt die teilflächenspezifische N-Düngung wirklich? In: Bauernblatt 13-2013, 40–48
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2013): Teilflächenspezifische Aussaat – Anpassung der Saatmengen an Bodenunterschiede. In: Bauernblatt 18-2013, 45–50
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2013): Präzise Saat im Praxistest. In: TOP AGRAR 5-2013, 64–69
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2013): Erfahrungen aus dem Projekt On Farm Research – Pflug, Mulch oder Direktsaat: Was passt wo am besten? In: Bauernblatt 22-2013, 40–46
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2013): Precision Farming im Ackerbau – On Farm Research auf Gut Helmstorf. In: Bauernblatt 22-2013, 30–32
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2013): Pflügen, Mulchen oder Direktsaat: Was passt? IN: TOP AGRAR 6-2013, 54–99
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN (2013): Wirtschaftlichkeit von Bodenbearbeitungsverfahren – Ergebnisse aus dem Projekt On Farm Research. In: RKL-Rundbrief 4-2013, 6–12
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE (2013): Wirtschaftlichkeit der Bodenbearbeitungsverfahren – Ergebnisse aus dem Projekt On Farm Research. In: Getreidemagazin 4-2013, 1–5
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE (2013): Wirtschaftlichkeit der teilflächenspezifischen N-Düngung – Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Projekt On Farm Research. In: Getreidemagazin 5-2013, 2–6
- OBENAUF ULFRIED, BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH (2014): N-Sensoren im praktischen Einsatz – Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Projekt On Farm Research. In: Journal für Kulturpflanzen 2-2014, 63–72
- BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN, OBENAUF ULFRIED (2015): Grunddüngung – Stimmen die Bodenanalysen? In: DLG-Mitteilungen 3-2015, 30–33
- BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN, OBENAUF ULFRIED (2015): Grundlagen für eine erfolgreiche technische Umsetzung der teilflächenspezifischen Grunddüngung – Bodenartbestimmung ist wichtig. In: Bauernblatt 17-2015, 64–66
- BORCHARDT IMKE (2015): Smart Farming – Exaktes Arbeiten ist der größte Nutzen. In: Agrarzeitung Smart Farming Report 20-2015, S. 5
- BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK CARSTEN, OBENAUF ULFRIED (2015): Precision Farming im Ackerbau – On Farm Research auf Gut Helmstorf. In: Bauernblatt 22-2015, 30–32

BORCHARDT IMKE (2015): Landwirtschaftskammer testet Precision Farming: Anspruch und Wirklichkeit. In: Bauernblatt 27-2015, 35-37

LUBKOWITZ CHRISTOPH (2015): Precision Farming: Technische Lösungen auf dem Prüfstand – Probleme bei teilflächenspezifischen Verfahren. In: Bauernblatt 27-2015, 38-39

KOCK CARSTEN (2015): Precision Farming auf Gut Helmstorf – Was ist im Praxisbetrieb umsetzbar? In: Bauernblatt 28-2015, 46-49

KOCK CARSTEN, OBENAUF ULFRIED (2015): Precision Farming auf Gut Helmstorf – Was ist im Praxisbetrieb umsetzbar? In: Rheinische Bauernzeitung 37-2015, 25-27

BORCHARDT IMKE (2015): Precision Farming auf dem Prüfstand – Langzeitprojekt untersucht Wirtschaftlichkeit des Ackerns auf Teilflächen. In: Agrarzeitung 38-2015, 16

LUBKOWITZ CHRISTOPH (2015): Precision Farming: Teilflächenspezifische Feldbearbeitung – Technische Grenzen bei Dosierungen. In: Bauernblatt 51-2015, 31-33

KOCK CARSTEN, BORCHARDT IMKE (2016): Präziser Ackerbau – Was bisher wirklich lohnt. In: dlz agrarmagazin 1-2016, 50-56

BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK Carsten (2016): OFR-Projekt – teilflächenspezifische Stickstoffdüngung von Raps. In Zeitschrift Raps 3/2016

BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, SCHÄFER BIRTE (2016): Zwischenbericht OFR-Projekt

BORCHARDT IMKE (2017): Erfahrungen mit Ertragspotenzialkarten, In: Bauernblatt 17-2017, 55-56

BORCHARDT IMKE, LUBKOWITZ CHRISTOPH, KOCK Carsten (2017): Stikstofsensoren bieden geen toegevoegde waarde. In Boederij September 2017

#### Öffentlichkeitsarbeit:

Im Projektzeitraum wurden die vorläufigen Ergebnisse auf zahlreichen Vortragsveranstaltungen und Feldführungen einem breiten Publikum vorgestellt. Neben Betriebsleitern, landwirtschaftlichen Beratern und Vertretern der Landmaschinenhersteller aus dem In- und Ausland, interessierten sich auch Lehrkräfte sowie Vertreter aus Verwaltung und Politik für dieses landesweit einmalige Projekt. In 2012, 2015 und 2017 wurden Projekttage mit jeweils mehreren hundert Besuchern durchgeführt. Die folgende Tabelle Tab. 44 gibt einen Überblick über die Besucherzahlen.

Tab. 44: Besucherzahlen 2009–2017 im On-Farm-Research-Projekt auf Gut Helmstorf

Jahr	Anzahl Teilnehmer
2009	500
2010	851
2011	401
2012	1423
2013	937
2014	518
2015	615
2016	313
2017	579







## Landwirtschafts- kammer Schleswig-Holstein

Impressum:  
Landwirtschaftskammer Schleswig Holstein  
Grüner Kamp 15-17  
24768 Rendsburg  
[www.lksh.de](http://www.lksh.de)

Auflage: 60 Stück