

Landwirtschaftlicher Gewässerschutz 2019-2023



Landwirtschaftlicher Gewässerschutz: Verminderung von Stickstoff-, Phosphor- und Sedimenteinträgen in sächsische Gewässer 2019-2023

Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie in landwirtschaftlich prioritär nitratbelasteten und eutrophierten Gebieten im Freistaat Sachsen 2019-2023

AgUmenda GmbH

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	11
2	Gewässerschutzberatung auf Augenhöhe	13
2.1	Anzahl der beratenen Betriebe	13
2.2	Best Practice Beispiele – was hat sich durch die Beratung in den Betrieben verändert?	14
2.2.1	Begrünte Hangrinne	15
2.2.2	Optimierung der Düngeplanung	15
2.2.3	Teilflächenbewirtschaftung mit Ertragspotentialkarten.....	16
2.2.4	Gülleverschlauchung	17
2.2.5	Organikeinsatz im Getreide auf sandigen Standorten	18
2.2.6	Separierung von organischen Düngern	19
2.2.7	Strip-Till im Getreide, Raps und Mais	19
2.2.8	Nährstofftransfer durch Fruchtfolgeanpassungen	20
2.2.9	Platzierte Grunddüngung.....	21
2.2.10	Nachlieferungsstarke Senken im Lößhügelland	22
2.2.11	Investition in innovative Düngetechnik	23
3	Resultate aus Beratung & Demonstration	25
3.1	Effizienter Nährstoffeinsatz.....	25
3.1.1	Biomasse Raps.....	25
3.1.2	N-Aufnahme durch ZwFr-Anbau.....	28
3.1.3	N-Nachlieferung durch ZwFr-Anbau zu Mais und Zuckerrüben.....	29
3.1.4	Organische Düngung im Getreide	34
3.1.5	Zeitpunkt des idealen Düngetermins	37
3.1.6	N _{min} -Beprobung	40
3.1.7	Düngung genauer gestalten mit Precision Farming.....	43
3.1.8	Zwischenfazit zur Nährstoffeffizienz	45
3.2	Schutz des Bodens vor Erosion	47
3.2.1	Inventur über ortsüblich genutzte Bodenbearbeitungssysteme	48
3.2.2	Bodenbearbeitungsverfahren zu Mais und Zuckerrüben	49
3.2.3	Möglichkeiten der Erosionsminderung bei Mais und Zuckerrüben	51
3.2.4	Bodenbearbeitungsverfahren zu Winterraps.....	58
3.2.5	Möglichkeiten der Erosionsminderung bei Winterraps	58
3.2.6	Allgemeine Maßnahmen zum Erosionsschutz auf Ackerflächen	61
3.2.6.1	Begrünte Fahrgassen	61

3.2.6.2	Begrünung von Abflussbahnen	64
3.2.6.3	Modelle helfen bei der effektiven Wirkungsabschätzung von Erosionsschutzmaßnahmen	66
3.2.7	Zwischenfazit zu erosionsmindernden Maßnahmen	68
4	Landwirtschaftlicher Gewässerschutz und dessen Umweltwirkung	70
4.1	Bewertung von nitrataustragsmindernden Maßnahmen	70
4.2	Bewertung von erosionsreduzierenden Maßnahmen	83
4.3	Umsetzungsstand der N- und P-Maßnahmen	85
4.4	Hindernisse und gesetzliche Widersprüche	93
5	Fazit	96
	Literaturverzeichnis	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Zielgebiete der Beratungen und Standorte der Praxisdemonstrationen, welche durch das Beratungsunternehmen AgUmenda GmbH im Auftrag des LfULG im Zeitraum 2019-2023 realisiert wurden	12
Abbildung 2:	Standorte der durch die AgUmenda GmbH beratenen Betriebe im Zeitraum 2019-23 vor dem Hintergrund der Nitratkulisse nach SächsDüReVO vom 15.11.2022 (Nitratkulisse: LfULG)	14
Abbildung 3:	Begrünte Hangrinne (Bild: AgUmenda GmbH)	15
Abbildung 4:	Tabellenschema für die Düngeplanung nach DüV (2020) (Bild: AgUmenda GmbH)	16
Abbildung 5:	Ertragspotentialkarte für einen Schlag in der heterogenen Hügellandschaft der Oberlausitz.....	17
Abbildung 6:	Gülleverschlauchung (links) und Weizenbestand ohne Überfahrungsschäden (rechts).....	18
Abbildung 7:	Gülleausbringung eines Lohnunternehmens in Sachsen in den Jahren 2017 und 2019	19
Abbildung 8:	Strip-Till-Saat von Mais nach Zwischenfrucht	20
Abbildung 9:	Raps nach Gemüseebsen (Vordergrund) und nach Weizen (Hintergrund)	21
Abbildung 10:	Schlag links ohne ZwFr (zu sehen ist Altraps) und rechts Senf als ZwFr	21
Abbildung 11:	Rapsaussaat mit platzierter DAP-Ablage (Bild: AgUmenda GmbH)	22
Abbildung 12:	Ertragspotentialkarte mit nährstoffreichen (rot) Hangrinnen und Senken	23
Abbildung 13:	Anbaustreuer der Baureihe »ZA-TS« von AMAZONE	24
Abbildung 14:	Zum Vegetationsende gebildete FM von Raps (links) und in Abhängigkeit von der FM berechnete N-Aufnahme ($1 \text{ kg FM/m}^2 \cong 50 \text{ kg N/ha}$) (rechts) in den Jahren 2019-2022 (n=147)	26
Abbildung 15:	Korrelation zwischen der N-Aufnahme (aufgenommene N-Menge geschätzt über Frischmasse; 1 kg FM entspricht 50 kg N-Aufnahme) von Raps und Index von CropSAT am 14.11.2022 (n=177)	27
Abbildung 16:	N-Aufnahmen von ZwFr-Beständen an mehreren unterschiedlichen Standorten in den Jahren 2018-2020 (n=20)	28
Abbildung 17:	Ungedüngte (links) und gedüngte ZwFr (rechts) auf einem schwach schluffigen Sandstandort	29
Abbildung 18:	N-Nachlieferung, gemessen als N_{\min} , im Düngefenster in 0-30 cm Bodentiefe zwischen Aussaat und Bestandesschluss bei verschiedenen Standorten und Sommerungen im Jahr 2021 (n=27)	30

Abbildung 19:	N-Nachlieferung, gemessen als N_{\min} , im Düngefenster in 0-30 cm Bodentiefe zwischen Aussaat und Bestandesschluss bei vergleichbaren Bodeneigenschaften, aber unterschiedlichen vorwinterlichen ZwFr-Aufwüchsen im Jahr 2021	31
Abbildung 20:	Maisertrag auf anlehmigen bis lehmigen Sandstandorten im Jahr 2021 in Abhängigkeit von Düngung und zuvor normal (n=4) oder kräftig (n=2) entwickelten ZwFr.....	32
Abbildung 21:	Maisertrag auf Lößlehmstandorten im Jahr 2021 in Abhängigkeit von Düngung und zuvor normal (n=4) oder kräftig (n=3) entwickelten ZwFr	32
Abbildung 22:	Weizenerträge bei organo-mineralischer (betriebsüblich, n=3), rein mineralischer (n=1) und rein organischer (n=1) Düngung. Im Bild sind die Auswirkungen einer rein mineralischen (links) und organo-mineralischen (rechts) Düngung erkennbar, Röhrsdorf am 19.05.2022.....	37
Abbildung 23:	Auswirkungen verschiedener Düngestrategien auf Ertrag und RP-Gehalt, Dubrauke, 2023 (n=4)	40
Abbildung 24:	Auswirkungen der Düngung in Abhängigkeit des vorhandenen N_{\min} -Gehaltes im Frühjahr auf die Lagerneigung.....	41
Abbildung 25:	Ertragspotentialkarte mit N_{\min} -Beprobungspunkten für einen diluvialen Standort bei Großenhain	42
Abbildung 26:	N_{\min} -Werte in 0-60 cm Bodentiefe für Einzel- und Mischproben je Ertragspotentialzone eines Weizenschlages bei Großenhain (Frühjahr 2020)	42
Abbildung 27:	Weizenerträge je Ertragspotentialzone auf einem D-Standort bei Großenhain in 2020	43
Abbildung 28:	Differenzierte Düngehöhen zur dritten Gabe (75 bzw. 148 kg KAS/ha) auf einem D-Standort im schlechten Teilbereich des Schlages sowie die Auswirkung auf Ertrag und RP-Gehalt (n=4)	44
Abbildung 29:	P-Versorgung in 0-30cm nach VDLUFA in Döschütz, 2022.....	45
Abbildung 30:	Beziehung zwischen pflanzenverfügbarem P in 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe; Einteilung in die Gehaltsklassen C und B für Trockengebiete (n=12)	45
Abbildung 31:	Wassererosion in 2022	48
Abbildung 32:	Korrelation zw. Schnurmethode nach Winnige et al. (1998) und digitaler Bildauswertung (n=40)	49
Abbildung 33:	Bodenbedeckung nach der Aussaat von Mais und Zuckerrüben in Abhängigkeit der Bearbeitungsintensität in 2021 und 2022 (n=55)	50
Abbildung 34:	Zuckerrüben- (links) und Maissaatbett nach Aussaat, Frühjahr 2022	50

Abbildung 35: Lidar-System zur Bestimmung der Bodenrauigkeit (links) und Rauigkeitsindizes von Mais und Zuckerrübe im Frühjahr 2022 (n=2) (rechts)	51
Abbildung 36: Bodenbedeckung nach Winter und nach der Aussaat von Mais bzw. Zuckerrüben in 2022 (n = 42)	51
Abbildung 37: Im Dezember 2020 zerkleinerte ZwFr (links) im Vergleich zur unbearbeiteten Fläche (rechts); Aufnahme Anfang März 2021.....	52
Abbildung 38: Wirkungen von Frost und Mulcher auf die Bodenbedeckung durch ZwFr, 2021 (n=4) ..	52
Abbildung 39: Strip-Till-Sämaschine aus der Baureihe Focus der Firma HORSCH.....	53
Abbildung 40: Saatbild in einem wachsenden (links) und abgetöteten (rechts) Ölrettich-Rauhafer-ZwFr-Bestand.....	54
Abbildung 41: Trockenmasseerträge von Mais mit und ohne Glyphosat bzw. Herbstdüngung (n=4) ..	54
Abbildung 42: Kumulativer Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von der Beregnungsdauer	55
Abbildung 43: Kumulativer Bodenabtrag während der 1. Beregnung in Abhängigkeit der Beregnungsdauer	55
Abbildung 44: Kumulativer Bodenabtrag während der 2. Beregnung in Abhängigkeit der Beregnungsdauer	56
Abbildung 45: Bestockter Weizen vor (links) und nach (rechts) einmaliger Bodenbearbeitung am 08.04.2019	57
Abbildung 46: Die glyphosاتفreie Variante mit Ackerfuchsschwanz am 06.06.2019.....	57
Abbildung 47: Low-Disturbance Schar mit DeepLoosening Spitze (rechts) und Schmalschar (mittig) für die Bodenbearbeitung zu Raps in der Demonstration; Gänsefußschar (links)	59
Abbildung 48: Bodenbedeckungsgrad nach der Bearbeitung mit verschiedenen Scharformen (n=4) ..	60
Abbildung 49: Bodenbedeckung vor und nach der Rapsaussaat in Abhängigkeit der Bearbeitungsintensität (Bilder (a) und (b)) in 2022 (n=4)	60
Abbildung 50: Strip-Till-Saat (links) und Bearbeitungsergebnis (rechts).....	61
Abbildung 51: Fahrspur mit Erosionsrinne von 13 cm Tiefe am 22.09.2021	62
Abbildung 52: Mit Intervallschaltung begrünzte Fahrgasse (links), fehlende Bodenbewegung in begrüntem (Mitte) und vorhandene Bodenbewegung in unbegrüntem (rechts) Fahrgassenabschnitt.....	62
Abbildung 53: Rillenbildung durch Überfahung in Kombination mit rotierender Fahrgassenmarkierung	63
Abbildung 54: Historische Karte (um 1800) des Einzugsgebietes, welches für das Erosionsereignis in Gersdorf im Jahr 2022 verantwortlich war	64
Abbildung 55: Aufbau der Verwallungsanlagen in Pröda im Landkreis Meißen	65
Abbildung 56: Mit Hafer begrünzte Hangrinne in Zöthain, 2022	65

Abbildung 57:	E3D-Simulationsergebnisse zum Sedimentabtrag in Zöthain, 2022	66
Abbildung 58:	E3D-Simulationsergebnisse zum Bodenabtrag (kg/m ²) bei einem 10-jährlichen Niederschlagsereignis (links) und modellierte Erosionsschutzmaßnahmen (rechts) ...	67
Abbildung 59:	Erosionsschutzwirkung der simulierten Maßnahmen	67
Abbildung 60:	Bodenbedeckung in Abhängigkeit langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren und Bestimmungsmethoden in 2023 (n=4)	84
Abbildung 61:	E3D-Ergebnisse zum Bodenabtrag bei 5 % und 20 % Bodenbedeckung.....	85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anzahl protokollierter Betriebsberatungen nach Jahr	13
Tabelle 2:	N-Aufnahme von Raps in Bezug zum CropSAT-Index für die pflanzenbauliche Interpretation	27
Tabelle 3:	Witterungsabhängiger Jahresvergleich von Rübenerträgen in und außerhalb der Düngefenster	33
Tabelle 4:	Auswirkung der Überfahung von Getreidebeständen mit verschiedenen Gülledüngesystemen	35
Tabelle 5:	Düngungsvarianten zu Winterweizen in der Praxisdemonstration Röhrsdorf 2022	37
Tabelle 6:	Ausgangsbedingungen und Prüffaktoren an den Standorten der Demonstrationsreihe ..	38
Tabelle 7:	Düngetermine und -varianten an den Standorten der Demonstrationsreihe	38
Tabelle 8:	Kornertrag in dt/ha (Rohprotein Korn [% TM]) je Saatstärke und Düngestrategie (Standorte 2021: Hohenprießnitz; 2022 u. 2023: Kleinbardau)	39
Tabelle 9:	Ergebnisse einer Bodenabtragsmessung in 2020	58
Tabelle 10:	Beratene N-Maßnahmen und deren Bewertung nach Grunert et al. (2023)	73
Tabelle 11:	Befragungsergebnisse zur Umsetzung von stoffaustragsmindernden N-Maßnahmen.....	90
Tabelle 12:	Befragungsergebnisse zur Umsetzung von stoffaustragsmindernden P-Maßnahmen	92

Abkürzungsverzeichnis

ABAG	Allgemeine Bodenabtragungsgleichung
AHL	Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung
ASS	Ammonsulfatsalpeter
BESyD	Bilanzierungs- und Empfehlungssystem Düngung
BP	Bodenpunkte
C _{org}	organischer Kohlenstoff
DAP	Diammonphosphat
DBE	Düngebedarfsermittlung
DWD	Deutscher Wetterdienst
DüV	Düngeverordnung
E3D	EROSION-3D
FM	Frischmasse
iDA	Interdisziplinäre Daten und Anwendungen
K	Kalium
KAS	Kalkammonsalpeter
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Mg	Magnesium
MSAVI2	Modified Soil Adjusted Vegetation Index
N	Stickstoff
n	Stichprobengröße
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
nFK	nutzbare Feldkapazität
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
NI	Nitrifikationsinhibitor
NIRS	Nahinfrarot-Sensorik
N _{min}	Mineralischer Stickstoff
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
P	Phosphor
P _{CAL}	Calcium-Acetat-Lactat löslicher Phosphor
PSM	Pflanzenschutzmittel
REIP	Red Edge Inflection Point
RP	Rohprotein
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index

SächsDüReVO	Sächsische Düngerechtsverordnung
SSA	Schwefelsaures Ammoniak
TS	Trockensubstanz
TSP	Triplesuperphosphat
UFD	Unterfußdüngung
UI	Ureaseinhibitor
VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
ZwFr	Zwischenfrucht, Zwischenfrüchte

1 Einleitung

Wasser stellt eine elementare Lebensgrundlage unserer Umwelt dar. Dessen Reinhaltung und langfristige Sicherung wurden durch gesetzliche Vorgaben manifestiert. Neben der Nitratrichtlinie beschreibt die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) die einzuhaltenden Qualitätsparameter in den Oberflächen- und Grundwasserkörpern. Im Bereich der Landwirtschaft betrifft dies vor allem die Nährstoff- und Pflanzenschutzmittelmissionen.

Durch das bestehende Messnetz und regelmäßiges Monitoring, wurden in Sachsen mit Nitrat und Phosphor (P) belastete Wasserkörper identifiziert. Die Verlagerungsaffinität von Nitrat mit dem Sickerwasserstrom ist für die Überschreitung des Grenzwertes von 50 mg/l in mehreren Grundwassereinzugsgebieten verantwortlich. Ausgebracht als Dünger und entstanden aus Umwandlungsprozessen, findet der Eintrag von Nitrat in die Ökosysteme hauptsächlich durch die Landwirtschaft statt. P hingegen ist wesentlich immobil und unterliegt nur in gelöster Form als Phosphat einer Verlagerung in tiefere Bodenschichten (WEIHRAUCH, 2018; GRAMLICH et al., 2018). Folglich wurde in den erosionsgefährdeten Regionen des sächsischen Lößhügellandes ein nicht unerheblicher P-Eintrag mit dem abgeschwemmten Sediment in die Fließgewässer von landwirtschaftlich genutzten Flächen identifiziert (Mallon & Friese, 2023).

Ziel war und ist es, den Nährstoffeintrag durch effizienzsteigernde Maßnahmen, flankiert durch gesetzliche Rahmenbedingungen, zu reduzieren. Das Zielgebiet (Abbildung 1) umfasst die Nitratgebiete nach Sächsischer Düngerechtsverordnung (SächsDüReVO) und P-belastete Oberflächenwasserkörper nach WRRL. Durch die unterschiedlichen Eintragspfade wurden für Stickstoff (N) das Nährstoffmanagement und für P der Erosionsschutz als zentrale Arbeitsaufgaben definiert. Mittels Felddemonstrationen, betrieblichen Beratungen, Workshops und Feldtagen sowie fachlich bezogener Öffentlichkeitsarbeit, sollen die Landwirtschaftsbetriebe in die Lage versetzt werden, Verbesserungspotentiale zu erkennen und langfristig zur Verbesserung der Gewässerqualität beizutragen.

Bedanken möchten wir uns bei den Landwirten und Landwirtinnen und Partnerorganisationen, die in den letzten fünf Jahren zur erfolgreichen Umsetzung beigetragen und den kooperativen Ansatz aktiv gelebt haben.

Im Folgenden wird der Fokus auf die gewonnenen Erfahrungen aus Beratung und Demonstration gelenkt. Strukturelle Resultate wie Häufigkeit von Workshops oder die Zahl der Teilnehmenden werden daher nicht näher erläutert. Ferner ist auf weitere Veröffentlichungen hinzuweisen, welche unter dem Link zu "Landwirtschaftlicher Gewässerschutz" (<https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaftlicher-gewaesserschutz-66214.html>) aufgerufen werden können. Dort sind die Erläuterung zu

den Demonstrationsberichten im Datenportal für interdisziplinäre Daten und Auswertungen (iDA), Vorträge von Veranstaltungen sowie Fachbeiträge und Videos zum landwirtschaftlichen Gewässerschutz in Sachsen zu finden.

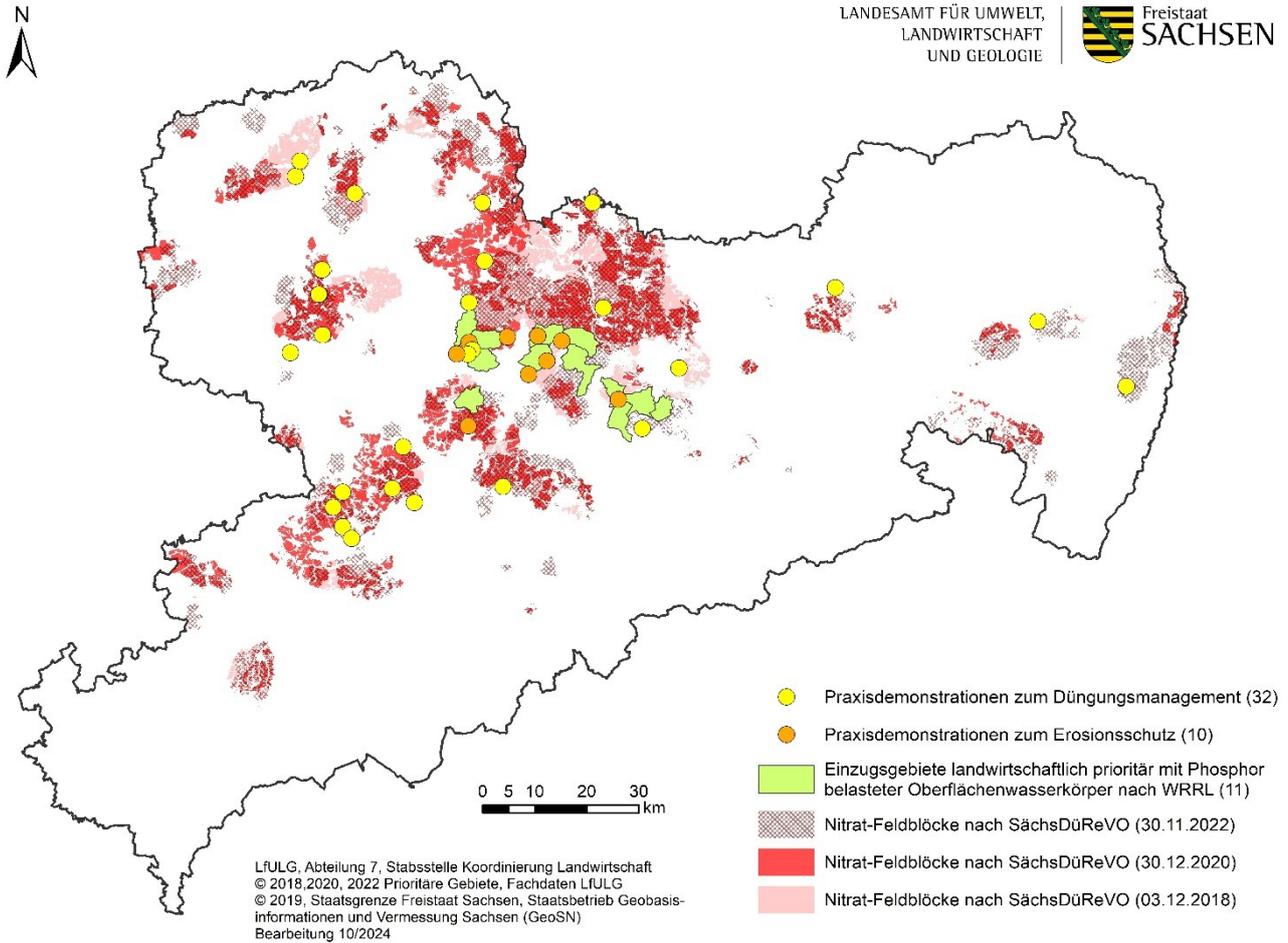


Abbildung 1: Zielgebiete der Beratungen und Standorte der Praxisdemonstrationen, welche durch das Beratungsunternehmen AgUmenda GmbH im Auftrag des LfULG im Zeitraum 2019-2023 realisiert wurden

2 Gewässerschutzberatung auf Augenhöhe

2.1 Anzahl der beratenen Betriebe

Auf Basis des kooperativen Ansatzes, wurden im Zeitraum 2019-2023 Betriebe zum effizienten Nährstoffeinsatz und zur Erosionsminderung beraten. Anhand ausgewählter Maßnahmen und nach Erstellung einer Potentialanalyse erfolgte die Beratung orientiert an den betriebspezifischen Herausforderungen. In gleichen Regionen kamen unterschiedliche und individuelle Herangehensweisen zum Tragen, welche für die Entscheiderinnen und Entscheider von Interesse waren und dem Ziel der Stoffaustragsminderung gerecht wurden.

Die einzelbetriebliche Beratung war, neben der Öffentlichkeitsarbeit, durch den regelmäßigen und persönlichen Austausch das Kernelement im kooperativen Ansatz.

In den Jahren 2019 bis Oktober 2023 wurden über 2700 Betriebsberatungen zur Nitrataustragsminderung durchgeführt (Tabelle 1). Von den insgesamt 230 beratenen Betrieben wurden über 50 über den ganzen Zeitraum hinweg, mit mindestens einer Beratung je Kalenderjahr, begleitet. In einem Beratungsjahr sollten möglichst vier bis fünf Beratungstermine je Betrieb – teilweise unterlegt mit gezielten Felduntersuchungen – umgesetzt werden. Die Auswahl der Betriebe erfolgte nach Zustimmung im Antrag auf Agrarförderung, gewichtet nach dem Umfang an bewirtschafteter Ackerfläche in den Zielgebieten und durch gezieltes Netzwerken. Die Teilnahme an den Beratungen war grundsätzlich freiwillig.

Tabelle 1: Anzahl protokollierter Betriebsberatungen nach Jahr

Jahr	2019	2020	2021	2022	2023	Gesamt
Beratungen	284	559	675	697	500	2715

Legende: Nicht berücksichtigt sind Telefongespräche, Nebengespräche usw.

Häufig fand der persönliche Austausch per Telefon oder auf Fachveranstaltungen statt. Dadurch wurden die Grundlagen für das Vertrauen und die Basis für die dauerhafte Beratung gelegt. Außerdem wurden viele fachliche Informationen in beide Richtungen ausgetauscht. Beispielhaft werden einige Fragen aufgeführt:

- Wann und wie erfolgt die Bodenprobenahme für die Bestimmung des pflanzenverfügbaren, mineralischen Stickstoffs (N_{min})? Welche besonderen gesetzlichen Vorgaben gelten im Nitratgebiet?
- Wie ist die N-Nachlieferung abzuschätzen?
- Ist eine Herbstdüngung zu Winterraps ratsam und wenn ja wie hoch sollte diese sein?
- Wann ist der geeignete Zeitpunkt zum Andüngen?

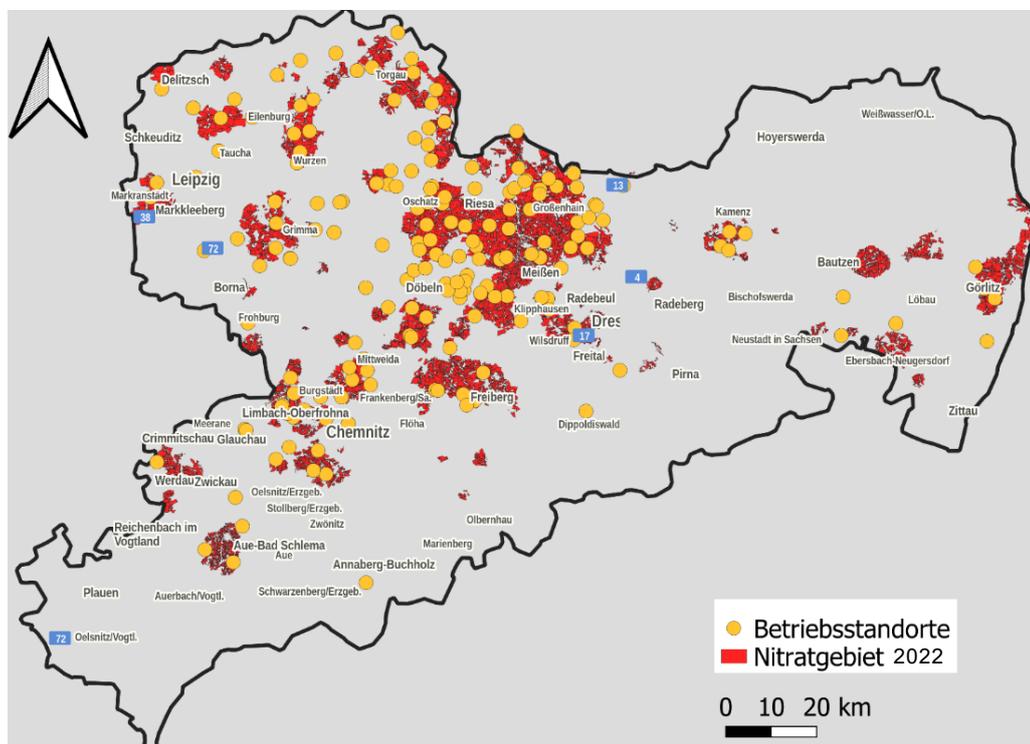


Abbildung 2: Standorte der durch die AgUmenda GmbH beratenen Betriebe im Zeitraum 2019-23 vor dem Hintergrund der Nitratkulisse nach SächsDüReVO vom 15.11.2022 (Nitratkulisse: LfULG)

In Abbildung 2 sind die Standorte der beratenen Betriebe vor dem Hintergrund der Nitratkulisse nach SächsDüReVO vom 15.11.2022 eingezeichnet. Teilweise sind Betriebe durch die zweimalige Änderung der Nitratkulisse aus der Beratung ausgeschieden und neue Betriebe dazugekommen.

2.2 Best Practice Beispiele – was hat sich durch die Beratung in den Betrieben verändert?

Multiple Ansätze im Beratungskonzept waren der Schlüssel für das Aufspüren von betriebspezifischen Optimierungsstrategien hinsichtlich Erosionsminderung und Steigerung der N-Effizienz. Mit Best Practice Beispielen aus der Beratung werden im Folgenden die Veränderungen im betrieblichen Handeln beschrieben. Aus Datenschutzgründen werden die kooperierenden Landwirtschaftsbetriebe namentlich nicht genannt.

2.2.1 Begrünte Hangrinne

Einer der wirksamsten Erfolge in der Erosionsreduktion im Lößhügelland stellt die mehrmalige Umsetzung einer Hangrinnenbegrünung zu Zuckerrüben dar (Abbildung 3). In der Talsohle eines stark kupierten und steilen Reliefs wurde auf einer Breite von 15 m im März Hafer ausgesät und damit ab April eine frühzeitige Bodenbedeckung generiert. Die negativen Folgen von Starkniederschlägen, die mit steigenden Temperaturen ab Anfang Mai wahrscheinlicher werden und abtragsintensive Bodenerosion auslösen, können somit abgemildert werden. Während des Regenereignisses bewegt sich Bodenmaterial mit der Hangneigung zur Hangrinne und lagert sich dort im Bewuchs ab. Unterhalb der Hangrinne liegende Ortschaften und Gewässer werden vor sedimentbeladenem wildabfließendem Wasser geschützt. Bodenverluste in der Fläche können nur über eine zusätzliche Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität vermindert werden.

Die produktionsintegrierte Umsetzung der begrünten Hangrinnen gestaltete sich durch den Einsatz gereferenziert arbeitender Technik erstaunlich leicht. Nachdem die Saat abgeschlossen und der Pflanzenaufbau erkennbar war, wurde die Fläche mit einem satellitengestützten Vermessungssystem erfasst. Die anschließende Saat der Zuckerrüben und anfallende Pflanzenschutzmaßnahmen, wurden teilflächenspezifisch mit Section Control Systemen durchgeführt. In Abhängigkeit von der Position des Zugschleppers, wurden über das Geräteterminal die Arbeitselemente zu- bzw. abgeschaltet. Weder Pflanzenschutzmittel (PSM) noch Zuckerrüben wurden somit in der begrünten Hangrinne appliziert bzw. gelegt.



Abbildung 3: Begrünte Hangrinne (Bild: AgUmenda GmbH)

2.2.2 Optimierung der Düngeplanung

Mit Beginn der Düngesaison wurde in einer Vielzahl von Betrieben die Düngeplanung umgesetzt und in den zukünftigen Planungsprozess implementiert. Ziel war es, den Vorgaben nach Düngeverordnung

(DüV) vom 01.05.2020 in den Nitratgebieten¹ zu entsprechen und die Reduktion um 20 % unterhalb des eigentlichen N-Bedarfs für alle betroffenen Flächen einzuhalten. Zur Anwendung kam eine neu gestaltete Planungstabelle, mit welcher die N-Mengen in Bezug zum eigentlichen N-Bedarf nach DüV (2020) schlagspezifisch vorgeplant werden können (Abbildung 4).

I	J	K	L	M	N
		Düengebedarf summiert (kg N alle Flächen)	Planmenge summiert (kg N alle Flächen)	geplante Menge relativ zum Bedarf (Prozent)	kg N offen unter Beachtung -20 %
	Nitratgebiet	24.950	19.650	78,76%	310
	ohne Auflagen	18.710	16.130	86,21%	

100%

Düengebedarf nach DüV (kg N/ha)	Düngemenge geplant (kg N/ha)	DB summiert (kg N/Schlag)	Planmenge summiert (kg N/Schlag)	geplante Menge relativ zum Bedarf (Quotient)
125	100	1.250	1.000	80,00%
125	100	1.250	1.000	80,00%
140	80	1.400	800	57,14%
145	140	1.450	1.400	96,55%
120	100	1.200	1.000	83,33%
140	80	1.400	800	57,14%
140	80	1.400	800	57,14%

Abbildung 4: Tabellenschema für die Düngplanung nach DüV (2020) (Bild: AgUmenda GmbH)

Der Abgleich mit dem Maßnahmenkatalog (Kapitel 4.1, Tabelle 10) und die entsprechende Beratung offerierte die Chancen umsetzbarer ertragsneutraler Einsparungspotentiale bei der N-Düngung. Ineffiziente Düngemaßnahmen aufgrund eines hohen boden- oder zwischenfruchtbedingten N-Nachlieferungspotentials, wurden in der Übersicht schnell kenntlich und Reduktionspotentiale deutlich. Diese fanden durch Anpassung der mineralischen oder Verschiebung der organischen Düngung Beachtung. Inzwischen wird die Planungstabelle von den Betrieben selbstständig genutzt.

2.2.3 Teilflächenbewirtschaftung mit Ertragspotentialkarten

Anspruchsvoll gestaltete sich die Nutzung selbst errechneter und im Shape-Format gespeicherter Ertragspotentialkarten für die Teilflächenbewirtschaftung (Abbildung 5). Deren Integration in bestehende und von den Betrieben genutzte Anwendungssysteme stellt derzeit noch eine technische Herausforderung dar. Per Mobilfunkdatenübertragung ist es in einigen Betrieben üblich, Arbeitsaufträge vom Büro zum Schlepper zu verwalten. Automatisch werden so Arbeitsaufträge auf den Schlepperterminals angelegt. In ihnen hinterlegt sind z. B. die abzuarbeitenden Schläge sowie die Aufwandmengen

¹ Link zu Düngegesetz/Düngeverordnung (<https://www.landwirtschaft.sachsen.de/duengeverordnung-duengegesetz-20287.html>).

für Düngung, Pflanzenschutz oder Saatgut. Am Computer festgelegte zonenbezogene Düngermengen können so auf dem Feld umgesetzt werden. Können jedoch systembedingt die im Vorfeld und für mehrere Jahre festgelegten Potentialkarten nicht eingelesen werden, ist der skizzierte Workflow nicht realisierbar. In einem Betrieb gelang es eigene Karten dauerhaft umsetzbar einzuspielen. Mit Hilfe eines Spezialisten aus dem Supportmanagement für digitale Produkte und mit eigenem Fachwissen erfolgte die Installation. Alle Beteiligten - Support Manager, Landwirtschaftsbetrieb und Mitarbeitende der AgU-menda GmbH - haben durch das gewonnene Know-how die Möglichkeit zukünftig als Multiplikatoren zu fungieren.

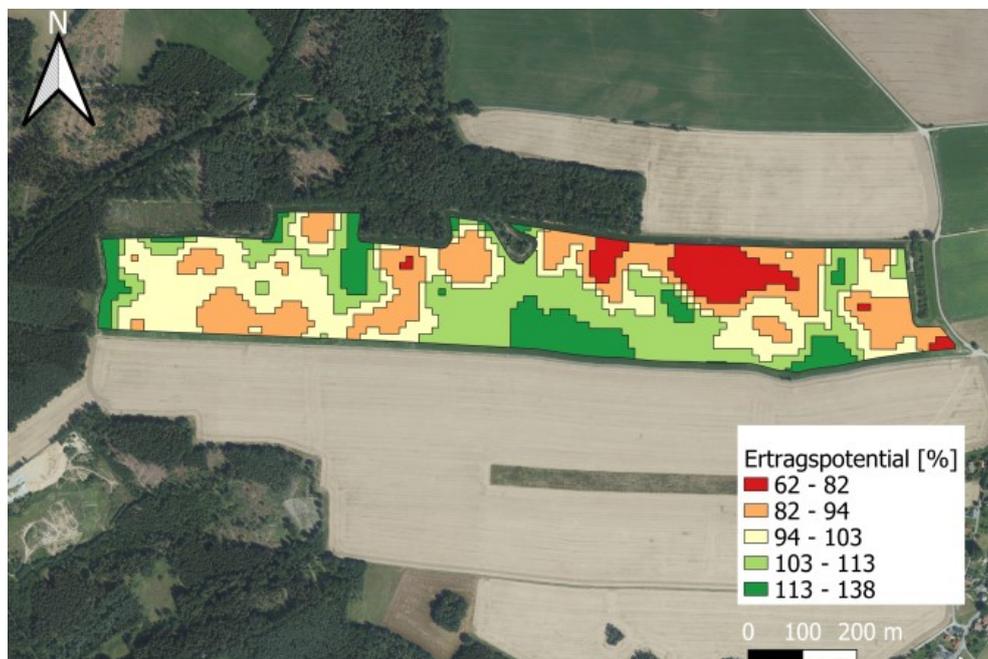


Abbildung 5: Ertragspotentialkarte für einen Schlag in der heterogenen Hügellandschaft der Oberlausitz (Luftbild: GeoSN, dl-de/by-2-0)

2.2.4 Gülleverschlachtung

Eine gleichmäßige Verteilung organischer Dünger ermöglicht einen bedarfsgerechteren Nährstoffein-satz. Dies setzt jedoch eine gute technische Verfügbarkeit voraus. Neben Dienstleistungsunternehmen kommt, je nach Anfall und ökonomischer Auslastung, auch die Eigenmechanisierung in Frage. Empfohlen wurde dem beratenen Betrieb die zusätzliche Frühjahrsdüngung im Getreide. Auf den tonigen Böden war es durch die bis dahin genutzten und bis zu 50 t schweren Ausbringer kaum möglich, bodenschonend im Hundegang flüssige Substrate zu applizieren. Überrollungen auf 4 m Breite bei Arbeitsbreiten von 8 m im 36 m Fahrgassensystem, bedeuteten eine Überfahung der Bestände auf 50 % der Fläche. Traktorengezogene Fässer mit entsprechender Arbeitsbreite hätten auf den stauwassernahen Standorten das Risiko bedeutet, dass sich die Ausbringsysteme festfahren und extrem tiefe Fahrspuren entstehen. Der Bergungsprozess zieht zusätzlich das Umpumpen und das Abschleppen mit mehreren

Traktoren mit sich. Als Lösung kam daher die Verschlauchung in Betracht (Abbildung 6). In Workshops wurden Informationen gegeben und erste Untersuchungen zur Druckempfindlichkeit und plastischen bzw. elastischen Verformung des Bodens durchgeführt. Handschnitte während der Ernte zeigten keine negativen Ertragseffekte durch die Überfahung zwischen den Fahrspuren (Abbildung 6). Diese spezielle Technik kann zudem den Nährstofftransfer vom Gemischt- bzw. Veredelungsbetrieb zum reinen Marktfruchtbetrieb befördern. Ein tierhaltender Betrieb in Nordsachsen bietet, in Kooperation mit einem Dienstleistungsunternehmen, die Ausbringung seiner Gülle in Marktfruchtbetrieben an. Vor allem auf tonigen Böden ist dies nur mit Verschlauchungstechnik weitgehend schadlos möglich. Dadurch kann die fachlich empfohlene Reduzierung der N-Düngung beim Mais umgesetzt werden, da Einsatzalternativen für die Wirtschaftsdünger bestehen. Nicht zuletzt sinkt der Bedarf für mineralische N-Dünger im Getreide.



Abbildung 6: Gülleverschlauchung (links) und Weizenbestand ohne Überfahrungsschäden (rechts) (Bilder: AgUmenda GmbH)

2.2.5 Organikeinsatz im Getreide auf sandigen Standorten

Die fachlich mögliche Reduktion des Organikeinsatzes beim Mais setzt in Betrieben mit hohem Gülleaufkommen entsprechende naturräumliche und betriebliche Rahmenbedingungen voraus, um die eingesparte Menge in die Getreidebestände fahren zu können. Auch hier kann, bei termingerechter Ausbringung mit verlustmindernder und bodenschonender Technik, eine hohe Nährstoffausnutzung erreicht werden. Im diluvial geprägten sächsischen Heidegebiet, mit früh einsetzendem Vegetationsbeginn zwischen Ende Februar und Mitte März und überwiegend leichten bis mittleren Böden, welche im Frühjahr zeitig abtrocknen, bestehen in durchschnittlichen Frühjahren günstige Bedingungen für den Gülleeinsatz im Getreidebestand. Ausgehend von Erfahrungen aus der Betriebsberatung und den Befragungsergebnissen zur Maßnahmenumsetzung (Kapitel 4.3), ist eine deutliche Ausweitung dieser Praxis festzustellen. Diese Entwicklung wurde begünstigt durch schlagkräftige Technik der Lohnunternehmen, wirtschaftliche Überlegungen wie hohe Düngemittelpreise und eingeschränkte Verfügbarkeit von

Düngemitteln sowie unsichere Maiserträge in Trockenjahren. Auch die beispielhaft dargestellten Zahlen eines Lohnunternehmens in Sachsen verdeutlichen, dass der Gülleeinsatz im Getreide, seit der jüngsten Novellierung der DüV (2020), verstärkt nachgefragt wird (Abbildung 7).

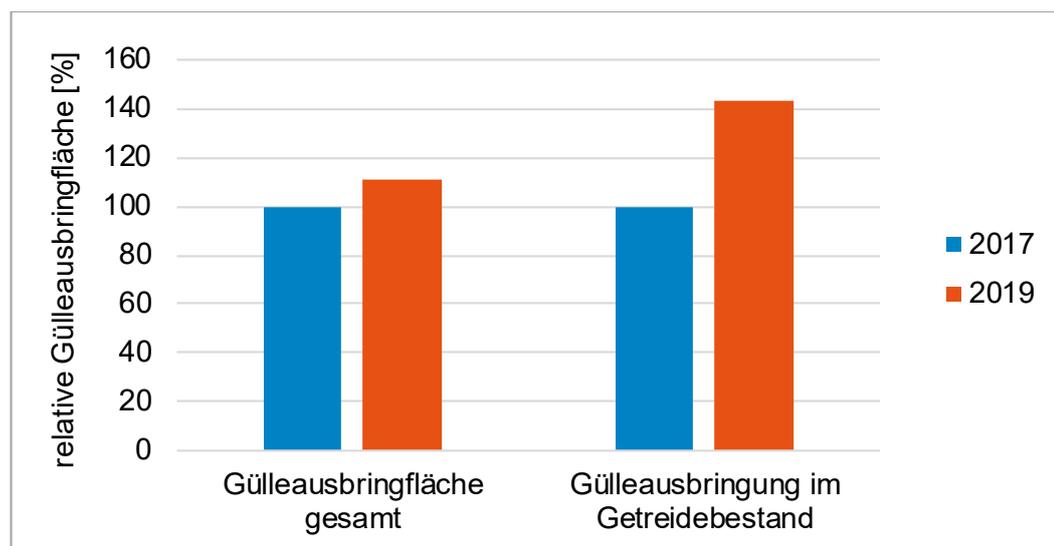


Abbildung 7: Gülleausbringung eines Lohnunternehmens in Sachsen in den Jahren 2017 und 2019

2.2.6 Separierung von organischen Düngern

Wesentliche Bausteine für ein effizientes Nährstoffmanagement in tierhaltenden Betrieben sind die optimale Verteilung der Nährstoffe innerhalb der Betriebsflächen sowie der sachgerechte Einsatz der betriebseigenen Dünger innerhalb der Kulturen. Vor allem in Milchvieh- und Biogasbetrieben, in denen betriebseigene organische Dünger durch wechselnde Gebrauchseigenschaften gekennzeichnet sind, kann die Nährstoffausnutzung durch eine Gärrest- oder Gülleseparation verbessert werden. Ein Beraterbetrieb im Raum Großenhain setzt dieses Verfahren seit mehreren Jahren erfolgreich ein und stand während einer Betriebsbesichtigung für andere viehhaltende Betriebe als Kontakt zur Verfügung. Durch Aufbereitung des vergleichsweise trockensubstanzreichen Biogasgärrestes im Januar, Februar und Spätsommer, kann der Trockensubstanzgehalt abgesenkt, die Fließigenschaften verbessert und die N-Wirkung in Getreidebeständen und im Grünland oder Feldfutter gesteigert werden. In der abgepressten Festphase ist vor allem P enthalten und durch den hohen Trockensubstanzgehalt weist der Dünger eine höhere Transportfähigkeit auf. Der Einsatz erfolgt gezielt auf Flächen auf denen der Dünger eingearbeitet werden kann, d. h. zu Mais im Frühjahr und zu Raps im Herbst. Außerdem wird der Einsatz auf Flächen mit hohem Grundnährstoffbedarf bevorzugt.

2.2.7 Strip-Till im Getreide, Raps und Mais

Eine Strip-Till-Sämaschine wurde in einem beratenen Betrieb angeschafft, um den Weizen nach Kartoffeln möglichst ohne weitere Bodenbearbeitung bestellen zu können. Ziel war es, die Mineralisierung im

Boden im Herbst nicht unnötig in Gang zu setzen (Abbildung 8). Angesichts häufigerer Trockenperioden rückt der Aspekt des Wasserrückhaltes auf der Fläche, bei der Wahl des Bodenbearbeitungsverfahrens, zunehmend in den Blickpunkt der betrieblichen Überlegungen. Gleichwohl kann durch die reduzierte streifenförmige Bodenbearbeitung (30 cm bei Raps und Getreide bzw. 60 cm bei Mais) eine hohe und erosionsmindernde Bodenbedeckung gewährleistet werden. Ein zukünftiger Austausch in Form einer kollegialen Gruppe wird für das sächsische Lößhügelland angestrebt. In dieser kann über die Vor- und Nachteile und mögliche Verbesserungen zur Adaption des Strip-Till-Verfahrens im kupierten Gelände diskutiert werden.



Abbildung 8: Strip-Till-Saat von Mais nach Zwischenfrucht (Bild: AgUmenda GmbH)

2.2.8 Nährstofftransfer durch Fruchtfolgeanpassungen

Marktfuchtbetriebe mit Leguminosen in der Fruchtfolge, ordnen in der Regel Winterweizen als abtragende Frucht mit günstigen Vermarktungsperspektiven ein. Mit Blick auf einen optimalen Nährstofftransfer sind einzelne Betriebe in den letzten Jahren jedoch dazu übergegangen, dieses Fruchtfolgepaar zu überdenken. Anders als Getreide ist Raps dazu in der Lage, große Anteile des von der Leguminose bereitgestellten N noch vor dem Winter zu verwerten und vor Auswaschung zu schützen. Im Rahmen der Betriebsberatung zur biomasseabhängigen Rapsdüngung, wurden gezielt diese Flächen für die Beprobung gewählt, um den Nutzen der Fruchtfolgeumstellung für die Vorwinterentwicklung einschätzen zu können (Abbildung 9). In den Gunstlagen der Lommatzcher Pflege stand oftmals Gemüseeerbse vor Raps. Auf den diluvialen bzw. Löß-Übergangsstandorten handelte es sich vor allem um Futtererbse (auch Winterform) und vereinzelt um Lupine und Ackerbohne. Häufig wurden in diesen Beständen hohe N-Aufnahmen festgestellt die, abweichend von den Vorgaben nach DüV (2020), ein beachtliches Einsparpotential im Frühjahr aufwiesen. Durch den Wegfall der Herbstdüngung und die Reduktion der Frühjahrsdüngung, lassen sich die N-Salden im Rapsanbau sichtbar verbessern.



Abbildung 9: Raps nach Gemüseerbsen (Vordergrund) und nach Weizen (Hintergrund) (Bild: AgU-menda GmbH)

Ähnlich wie Raps sind Zwischenfrüchte (ZwFr) in der Lage hohe N-Mengen vor dem Winter aufzunehmen. In 2023 wurden am Rande der Lommatzscher Pflege erste Erfahrungen beim ZwFr-Anbau zur Nährstofffixierung, nach frühräumenden Gemüseerbsen, gesammelt. Die erhofften Vorteilswirkungen des ausgesäten Senfes – Absenkung des N_{\min} im Boden und Nährstoffspeicherung in der Biomasse – konnten im Vergleich zu einer nicht bestellten Teilfläche sehr gut nachvollzogen werden (Abbildung 10). Auch der ZwFr-Umbruch und die anschließende ganzflächige Bodenbearbeitung mit dem Tiefgrubber, ließen sich nach anfänglichen Schwierigkeiten gut realisieren.



Abbildung 10: Schlag links ohne ZwFr (zu sehen ist Altraps) und rechts Senf als ZwFr (Bild: AgU-menda GmbH)

2.2.9 Platzierte Grunddüngung

Die durchwachsene Grundnährstoffversorgung der Böden in den ostdeutschen Bundesländern, so auch in Sachsen, ist ein oft thematisiertes Problem, welches insbesondere die viehlosen Betriebe betrifft.

Eine optimale Grundnährstoffversorgung gilt als Voraussetzung für eine hohe N-Ausnutzung und ist unter Trockenbedingungen experimentell sehr gut belegt (Zorn & Schröter, 2019). Stark positive Effekte sind auf sehr schwach versorgten Flächen, insbesondere bei Kulturen mit einem hohen P-Bedarf, zu erwarten.

Ein beratener Betrieb, bei dem die kritische Grundnährstoffsituation aus der langjährigen Bewirtschaftungshistorie mit negativem P-Saldo und einer Grundnährstoffuntersuchung hervorging, hat vor diesem Hintergrund in neue, innovative Bestelltechnik investiert (Abbildung 11). Im Vorfeld konnte die Ertragswirksamkeit des P-Einsatzes im Getreide über Schauparzellen eindrücklich demonstriert werden. Als Reaktion auf die schwache P-Versorgung sollen zukünftig regelmäßig kleine wasserlösliche P-Mengen (15 - 20 kg P/ha) als Triplesuperphosphat (TSP) zur Getreideaussaat und Diammonphosphat (DAP) als Unterfußdüngung (UFD) zur Rapsaussaat platziert werden. Zu erwarten ist eine bessere N-Ausnutzung durch eine höhere Ertragsstabilität – auch in Trockenphasen. Müller et al. (2019) konnten in Untersuchungen eine hohe P-Verfügbarkeit durch eine platzierte Ablage zeigen.

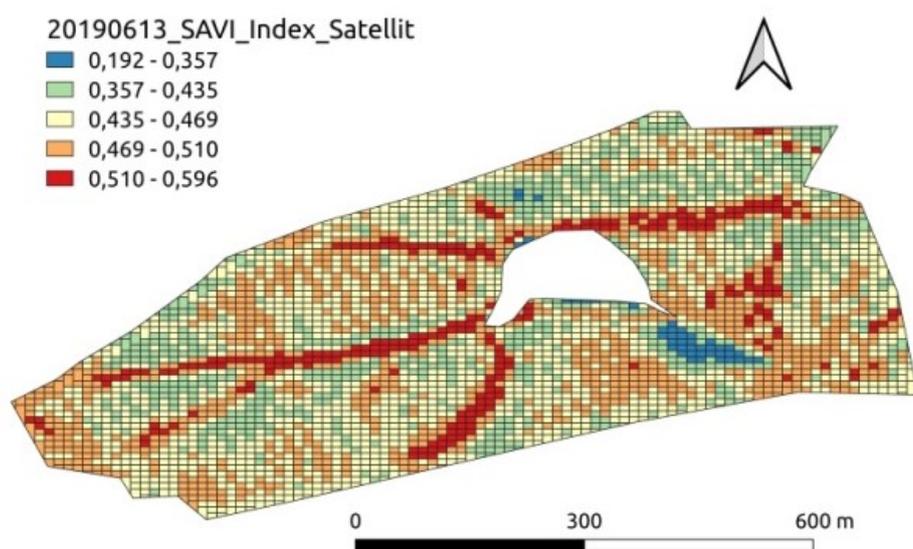


Abbildung 11: Rapsaussaat mit platzierter DAP-Ablage (Bild: AgUmenda GmbH)

2.2.10 Nachlieferungsstarke Senken im Lößhügelland

Die nährstoffreichen Böden in den feuchten Hangrinnen des sächsischen Lößhügellandes (Abbildung 12) lassen die Bestände überproportional viele Triebe anlegen, sorgen für ein hohes Korn-Stroh-Verhältnis (1:1,4) und einen zusätzlich hohen Rohproteingehalt (RP-Gehalt). Untersuchungen in Ringberatungen stützen und belegen diese Thesen. Eine hohe Lagerneigung verdeutlichte die Notwendigkeit von pflanzenbaulichen Anpassungsstrategien zusätzlich. Dieser wurde in der Vergangenheit durch den Yara N-Sensoreinsatz Rechnung getragen, dennoch waren einige Betriebe auf der Suche nach preiswerteren Alternativen oder technischem Ersatz. Je nach Mächtigkeit der Lößauflage in den Schiefwegen,

wurde zusätzlich die höhere Düngung laut Sensorsystem hinterfragt. Unbestritten blieb, dass wasserspeicherfähige, aber nährstoffärmere Kuppen eine höhere Andüngung durch bessere Erträge danken. Hingegen reagieren Sandunterlagen bei höherer Düngung und unter Trockenheit mit Ertragsdepressionen und Nährstoffverluste sind dann unvermeidbar. Bereits beschriebene Ertragspotentialkarten wurden gebildet. Diese waren aber nicht immer plausibel, da durch Schlagteilung und verschiedenen Sorten schlechte Voraussetzungen für kleinere Betriebe gegeben waren. In diesen Fällen wurde der Sensorverkauf begleitet und die Anwendung unterstützt. Ein weiterer Betrieb wurde bei der Überlegung in die Neuinvestition von innovativer Düngetechnik bestärkt, um die untersuchten und belegten betriebs-spezifischen Thesen besser in den täglichen Betriebsablauf integrieren zu können.



Legende: SAVI = Soil Adjusted Vegetation Index

Abbildung 12: Ertragspotentialkarte mit nährstoffreichen (rot) Hangrinnen und Senken (Bild: AgUmenda GmbH)

2.2.11 Investition in innovative Düngetechnik

Im Rahmen der Beratungsgespräche über optimierte Düngerstreuereinstellungen wurden stets innovative Düngesysteme empfohlen (Abbildung 13). Für Schleuderstreuer kann die Beurteilung der Quer- verteilung über kalibrierte Radarsysteme erfolgen. Unabhängige Untersuchungen von der DEULA-Ni- enburg GmbH belegen die Sinnhaftigkeit der Technikinvestitionen, um den kostenintensiven Dünger optimal und umweltgerecht im Feld zu verteilen (Tastowe, 2020). Windmesssysteme liefern ferner In- formationen über die aktuellen Ausbringbedingungen und passen die Arbeitselemente an die Gegeben- heiten an. Bei fünf Unternehmen wurden Investitionen in die vorgestellte Düngetechnik begleitet und ein Erfahrungsaustausch unter umliegenden Landwirtschaftsbetrieben gefördert. Dieser soll perspek- tivisch zu einer Verbreitung der Systeme beitragen. Ein weiterer Vorteil der technischen Neuerungen

beinhaltet die Möglichkeit zur georeferenzierten Umsetzung von digitalen Düngekarten, wodurch eine teilflächenspezifische Düngung möglich wird.



Abbildung 13: Anbaustreuer der Baureihe »ZA-TS« von AMAZONE (Bild: AgUmenda GmbH)

3 Resultate aus Beratung & Demonstration

In den nachfolgenden Kapiteln werden wichtige Ergebnisse der zurückliegenden fünfjährigen Umsetzung eines effizienten Nährstoffeinsatzes und Schutz des Bodens vor Erosion vorgestellt.

3.1 Effizienter Nährstoffeinsatz

Die Betriebe beginnen teilweise bereits kurz nach der Ernte mit der Düngeplanung und dem Düngerkauf für die nächste Saison. Oftmals werden die benötigten Düngermengen in Teilchargen gekauft, um die finale Festsetzung noch während der Vegetation steuern und das Preisrisiko splitten zu können. Für die Düngeplanung ist somit das wirtschaftliche und pflanzenbauliche Optimum unter den gegebenen Rahmenbedingungen entscheidend. Im Nitratgebiet besitzen die Betriebe generell die Optionen

- pauschal für alle Flächen den ermittelten N-Düngebedarf um 20 % zu reduzieren², oder
- durchschnittlich maximal 160 kg N/ha und Jahr, davon höchstens 80 kg N/ha mineralisch, einzusetzen.

Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit zum effizienten N-Einsatz. Die Düngeplanung mittels neu gestalteter Planungstabelle (Kapitel 2.2.2) war vortrefflich geeignet, um betriebsindividuell Maßnahmen aus dem Beratungsangebot zur Nitrataustragsminderung (Kapitel 4.1, Tabelle 10) empfehlen zu können. Durch die Novellierung der DüV im Jahr 2020 wurde bei vollständiger Ausschöpfung der berechneten Düngermenge, 20 % weniger N im Vergleich zu zuvor geltenden Regelung appliziert. N-Einsparungen sind in Einklang mit einer möglichst hohen Abfuhr zu bringen, um auf Dauer ein niedriges, flächenbezogenes N-Saldo zu erzielen. Fruchtartelastisch Dünger zu verteilen war daher der Beratungsansatz, der in einer optimierten N-Effizienz mündete.

3.1.1 Biomasse Raps

Die Frühjahrsdüngung zu Raps, in Abhängigkeit der im Herbst gewachsenen Biomasse, wurde von Sieling et al. (2009) ausführlich untersucht und in den erweiterten Düngeempfehlungen im Bilanzierungs- und Empfehlungssystem Düngung (BESyD) integriert. Um eine flächenhafte Umsetzung zu errei-

² Die Reduzierung des N-Düngebedarfs um 20 % bezieht sich auf die Gesamtsumme aller bewirtschafteten Flächen im Nitratgebiet. Somit ist eine kultur-, schlag- oder standortelastische Umsetzung zulässig.

chen, wurden sachsenweit Rapsbestände auf deren Frischmasse-Gewicht (FM-Gewicht) zum Vegetationsende geprüft. Die Beprobung erfolgte georeferenziert, um die per Ground Truth ermittelten Werte in Beziehung zum satellitengestützten Vegetationsindex zu setzen. Als Indizes kamen REIP (Red Edge Inflection Point), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) und MSAVI2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index) zur Anwendung. Anders als der NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) sättigten diese Indizes bei N-Aufnahmen von > 100 kg N/ha nicht und lassen auch in höheren Bereichen Differenzen erkennen. Einspareffekte können durch die sichere Erkennung hoher FM besser ausgeschöpft werden. Ein risikobasierter N-Abschlag durch einen degressiven Faktor bei steigenden N-Aufnahmen > 100 kg N war nicht nötig.

Witterungsbedingt unterschieden sich die Rapsbestände in der jährlich gebildeten FM und damit in der N-Aufnahme (Abbildung 14). Trockenheit, Bodenstrukturschäden, später Saattermin, phytosanitäre Kalamitäten und kühle Temperaturen wirkten entwicklungshemmend. In 2021 lag die N-Aufnahme durchschnittlich bei nur 50 kg N/ha. N-Einspareffekte waren hier nicht zu erzielen, da eine Empfehlung zur Reduktion der N-Düngung im Frühjahr 2022 nicht gegeben werden konnte.

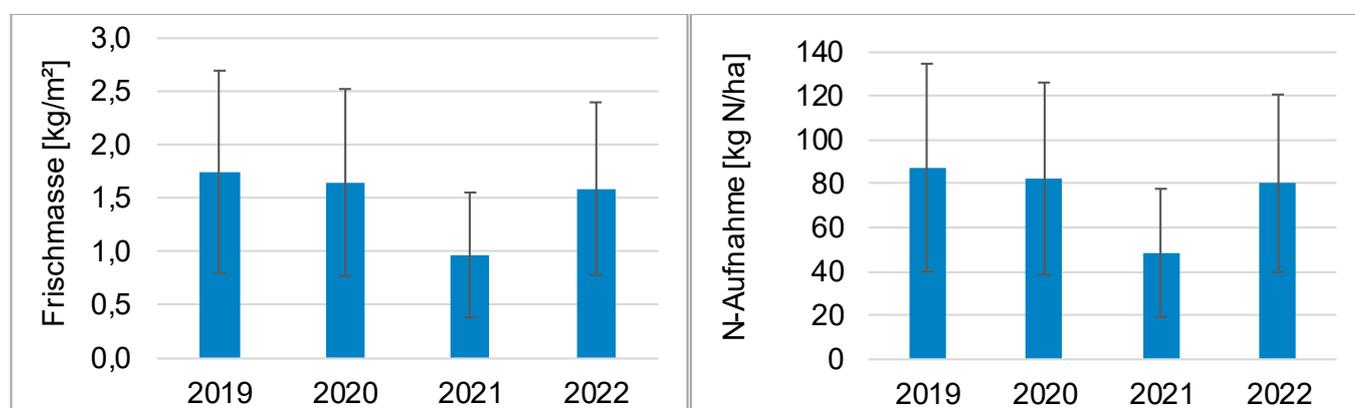


Abbildung 14: Zum Vegetationsende gebildete FM von Raps (links) und in Abhängigkeit von der FM berechnete N-Aufnahme ($1 \text{ kg FM/m}^2 \triangleq 50 \text{ kg N/ha}$) (rechts) in den Jahren 2019-2022 (n=147)

Anders gestaltete sich die Situation in den Jahren 2019, 2020 und 2022. Jährlich wurde eine Funktion aus der Korrelation zwischen N-Aufnahme und gewähltem Index berechnet (Abbildung 15). Mittels Bestimmtheitsmaß (R^2) konnte die Genauigkeit der Korrelationsfunktion eingeschätzt und die fachliche Reproduzierbarkeit auf einer bis dahin nicht untersuchten Teilfläche eingeordnet werden. Mit dieser Plausibilitätsprüfung konnte die Maßnahme fachlich fundiert und konsequent bei Einhaltung von einem $R^2 > 0,6$ beraten werden. Für die einfache Anwendung diente oft das von CropSAT kostenlos bereitgestellte Düngetool.

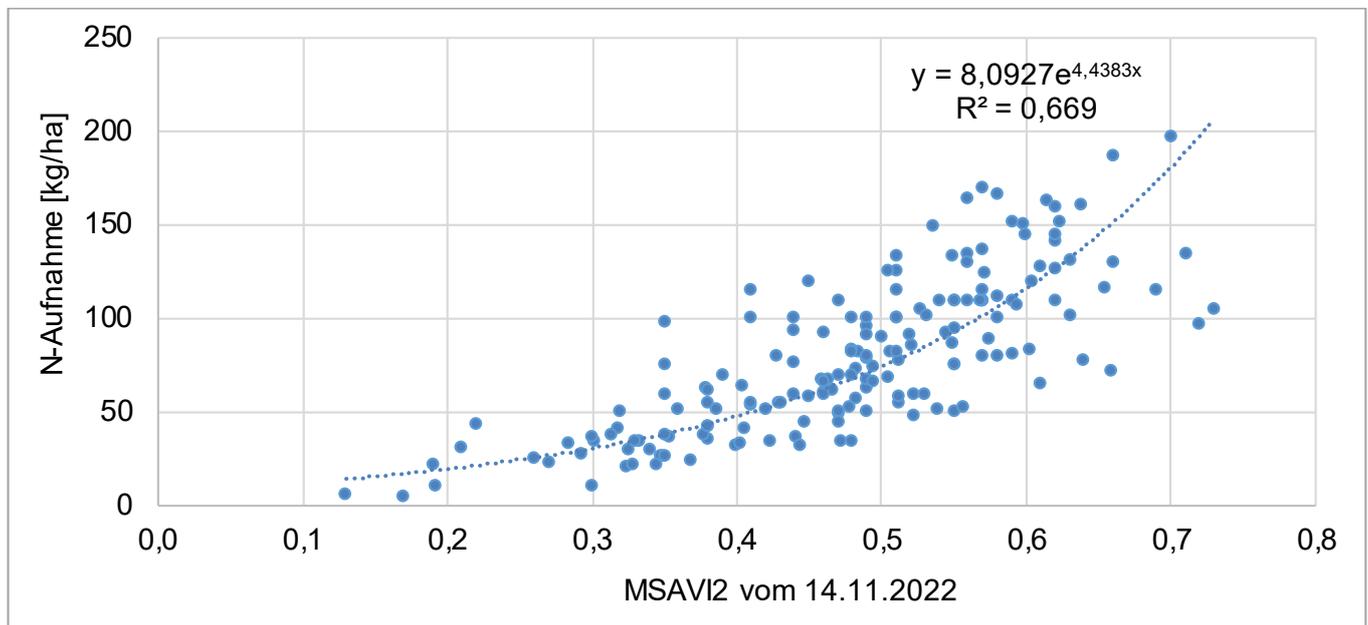


Abbildung 15: Korrelation zwischen der N-Aufnahme (aufgenommene N-Menge geschätzt über Frischmasse; 1 kg FM entspricht 50 kg N-Aufnahme) von Raps und Index von CropSAT am 14.11.2022 (n=177)

Eine Einstufung der N-Aufnahme erfolgte anhand des CropSAT-Index (Tabelle 2). Herstellerübergreifend konnten für verschiedene Firmenterminale Karten erarbeitet und zur Nutzung eingespielt werden. Zum Workflow gehörte auch eine N-Bedarfsermittlung sowie die Aufteilung der Düngemengen in verschiedene Teilgaben. Letzteres geschah, da die Schwefel-Düngung als schwefelsaures Ammoniak (SSA) oder Ammonsulfatsalpeter (ASS) oft schlageinheitlich und die abschließende reine N-Düngung variabel nach Biomasse erfolgen sollte.

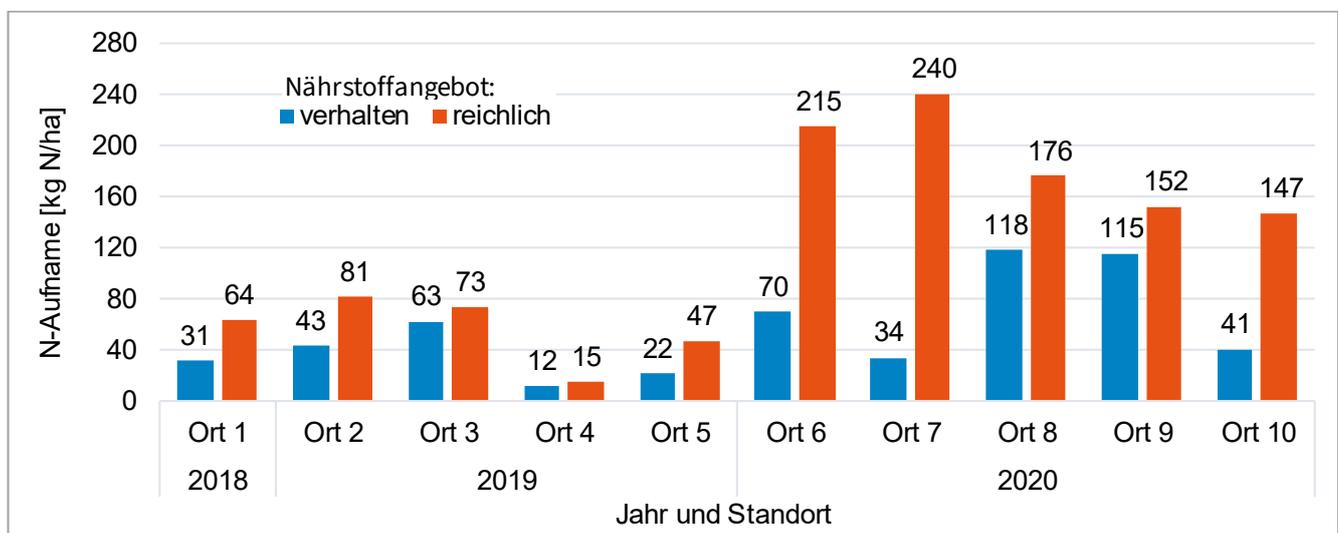
Tabelle 2: N-Aufnahme von Raps in Bezug zum CropSAT-Index für die pflanzenbauliche Interpretation

Index Cropsat 14.11.2022	Berechnete N-Aufnahme	N-Einsparung zusätzlich zur N-Bedarfsrechnung nach DüV
0,40	48	nein
0,42	52	
0,44	57	
0,46	62	ggf. Einsparung, in Abhängigkeit der ausgebrachten Herstdüngung
0,48	68	
0,50	74	
0,52	81	
0,54	89	Einsparpotential vorhanden (bei vollständiger Ausschöpfung der im Herbst zulässigen N-Menge)
0,56	97	
0,58	106	
0,60	116	
0,62	127	

3.1.2 N-Aufnahme durch ZwFr-Anbau

Die Wirkung des ZwFr-Anbaus wurde nach pflanzenbaulichen (Biomassebildung, N-Aufnahme, N-Nachlieferung, Pflanzengesundheit) und verfahrenstechnischen (Saatechnik, Sortenwahl, Umbruch) Aspekten analysiert.

Gelingt die Etablierung eines ZwFr-Bestandes ohne Beikräuter und Ausfallsamen, kann dessen pflanzenbauliche Wirkung auf die nachfolgend angebaute Kultur (Kap. 3.1.3) präzise dargestellt werden. Für aussagekräftige Ergebnisse erfolgten die Beprobungen zu jedem Termin ortstreu, d. h. an georeferenzierten Beprobungspunkten. Durch die Auswahl der Probenahmepunkte konnten zusätzlich bodenbedingte Einflüsse ausgeschlossen werden. Systematisch wurden Nachernte- N_{\min} -Werte, Bestandsbildner, Biomasse vor Winter, Herbst- und Frühjahrs- N_{\min} ermittelt. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Untersuchungsstandorten herzustellen, wurden Bodenarten und unterschiedliche Nährstoffangebote vereinfacht kategorisiert. In Abbildung 16 sind die N-Aufnahmen der untersuchten ZwFr-Bestände aus den Jahren 2018-2020 dargestellt. Wie auch bei der Biomassebestimmung von Raps (Kap. 3.1.1) ergaben sich jahresdifferenzierte Ergebnisse, welche überwiegend von den Bodenfeuchten und damit dem Etablierungserfolg beeinflusst wurden.



Legende: reichhaltiges Nährstoffangebot = langjährige organische Düngung, hohe Nachlieferung o. ä.

Abbildung 16: N-Aufnahmen von ZwFr-Beständen an mehreren unterschiedlichen Standorten in den Jahren 2018-2020 (n=20)

Unter optimalen Bedingungen nahmen die ZwFr bei einem reichlichen Nährstoffangebot bis zu 240 kg N/ha auf. Der applizierte N führte zu gut entwickelten, die Ackerhygiene fördernden ZwFr-Beständen, da sich durch die angebotenen Nährstoffe ihre Konkurrenzkraft entfalten konnte. Ein anschauliches Beispiel für die Wirkung der Herbstdüngung von ZwFr wird mit Abbildung 17 gegeben. Von benachbarten, homogenen Feldern wurde der ungedüngte bzw. gedüngte ZwFr-Aufwuchs ermittelt

und das Pflanzenmaterial im Labor untersucht. Die deutlich sichtbaren Differenzen spiegeln sich in der N-Aufnahme (35 kg N/ha bzw. 240 kg N/ha), im N-Gehalt in der Trockenmasse (1,4 % N bzw. 4 % N), im C:N-Verhältnis (31 bzw. 11), jedoch nicht im N_{\min} -Gehalt in 0-60 cm Tiefe vor dem Winter (39 kg N/ha bzw. 48 kg N/ha) wider. Eine Fixierung und reduzierte N-Verlagerung wird durch die N-Aufnahme und den N_{\min} -Gehalt deutlich. Die Differenzen im N-Gehalt und im C:N-Verhältnis führen zu veränderten Umsetzungsprozessen. Zu rechnen ist mit einer schnelleren und höheren N-Freisetzung im Frühjahr in der gedüngten Variante. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit, die schlagspezifischen Aufwüchse der ZwFr in der N-Bedarfsberechnung zu berücksichtigen. Mit der Novellierung der DüV (2020) wurde im Nitratgebiet die Herbstdüngung von ZwFr-Beständen ohne Nutzung verboten. Aus Sicht des betrieblichen Managements von organischen Düngern bzw. der schwer umsetzbaren Ausweitung weiterer Lagerkapazitäten, ist diese Regelung aus ökologischer Sicht durch die gezeigte Nährstoffverwertung per Biomassebildung äußerst kritisch zu hinterfragen.



Abbildung 17: Ungedüngte (links) und gedüngte ZwFr (rechts) auf einem schwach schluffigen Sandstandort (Bilder: AgUmenda GmbH)

3.1.3 N-Nachlieferung durch ZwFr-Anbau zu Mais und Zuckerrüben

Schliephake & Albert (2003) gehen von Wiederfindungsraten des in der ZwFr gebundenen N von 25-50 % im nachfolgenden Mais aus. Tiefgründige, nachlieferungsstarke Standorte überdecken aufgrund ihrer hohen Gesamt-Kohlenstoff- und Gesamt-N-Gehalte und der damit verbundenen hohen Umsetzungsrate diese Effekte. Hier liegt die Wiederfindungsrate bei 25-30 %. Die Nährstofffreisetzung aus der abgestorbenen ZwFr nimmt dabei nur einen verhältnismäßig geringen Anteil ein. Dieser et al. (2023) und Tauchnitz et al. (2022) konnten zeigen, dass der Herbst- N_{\min} wesentlich von den Bodeneigenschaften und weniger von der direkten Bewirtschaftung beeinflusst wird. Im Projekt »Präzision und Aussage von N_{\min} -Untersuchungen« wurden auf tiefgründigen Schlagbereichen unter Getreide höhere Frühjahrs- N_{\min} -Werte gemessen (Theiß & Schliephake, 2020a; Theiß & Schliephake, 2020b). Diese Beobachtung wurde durch eigene Untersuchungen auf Beratungs- und Demonstrationsflächen bestätigt. Zudem

wurden im Zeitraum von Aussaat bis Bestandesschluss steigende N_{\min} -Gehalte in den Düngefenstern bestimmt (Abbildung 18).

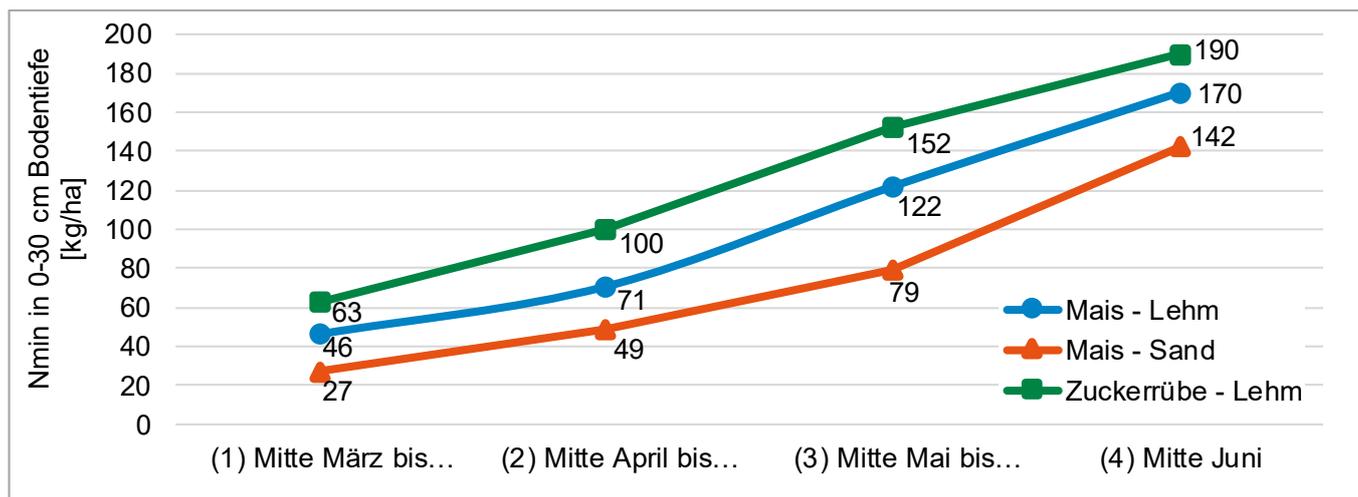
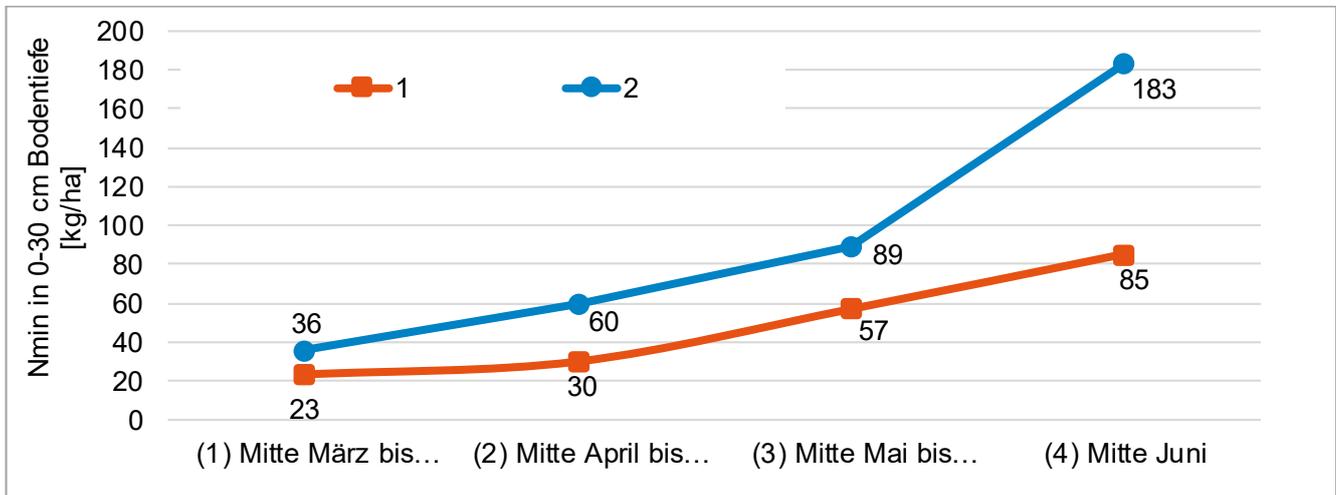


Abbildung 18: N-Nachlieferung, gemessen als N_{\min} , im Düngefenster in 0-30 cm Bodentiefe zwischen Aussaat und Bestandesschluss bei verschiedenen Standorten und Sommerungen im Jahr 2021 (n=27)

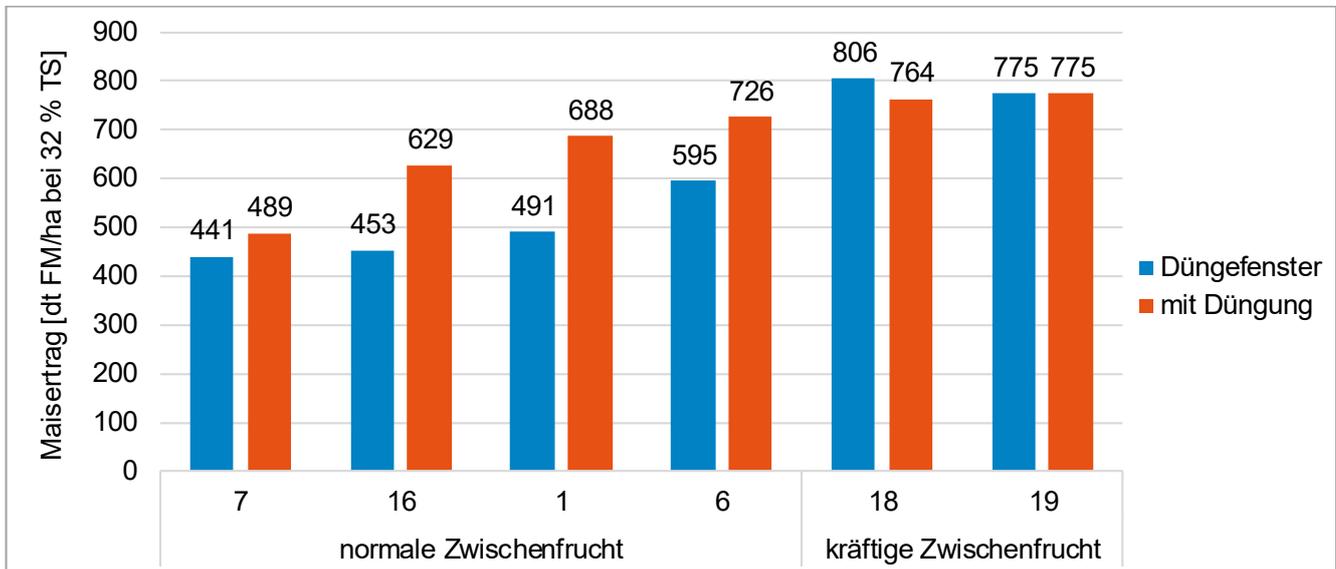
Für anlehmige bis lehmige Sandstandorte ergab sich, in Abhängigkeit des vorwinterlichen ZwFr-Aufwuchses, das in Abbildung 19 dargestellte Bild. Höhere und stärker ansteigende N_{\min} -Verläufe im Frühjahr konnten für kräftig entwickelte ZwFr-Bestände, mit 40-60 kg N-Aufnahme vor dem Winter, festgestellt werden. Die von Schliephake & Albert (2003) beobachtete N-Wiederfindungsrate in der nachgebauten Kultur kann durch eine höhere N-Mineralisation in Zusammenhang mit den eigenen Erhebungen gebracht werden.



Legende: 1 = Sandböden, schwach bis normal entwickelte ZwFr, ohne regelmäßige organische Düngung (n=4); 2 = Sandböden, kräftig entwickelte ZwFr und/oder regelmäßige organische Düngung (n=6)

Abbildung 19: N-Nachlieferung, gemessen als N_{min} , im Düngefenster in 0-30 cm Bodentiefe zwischen Aussaat und Bestandesschluss bei vergleichbaren Bodeneigenschaften, aber unterschiedlichen vorwinterlichen ZwFr-Aufwüchsen im Jahr 2021

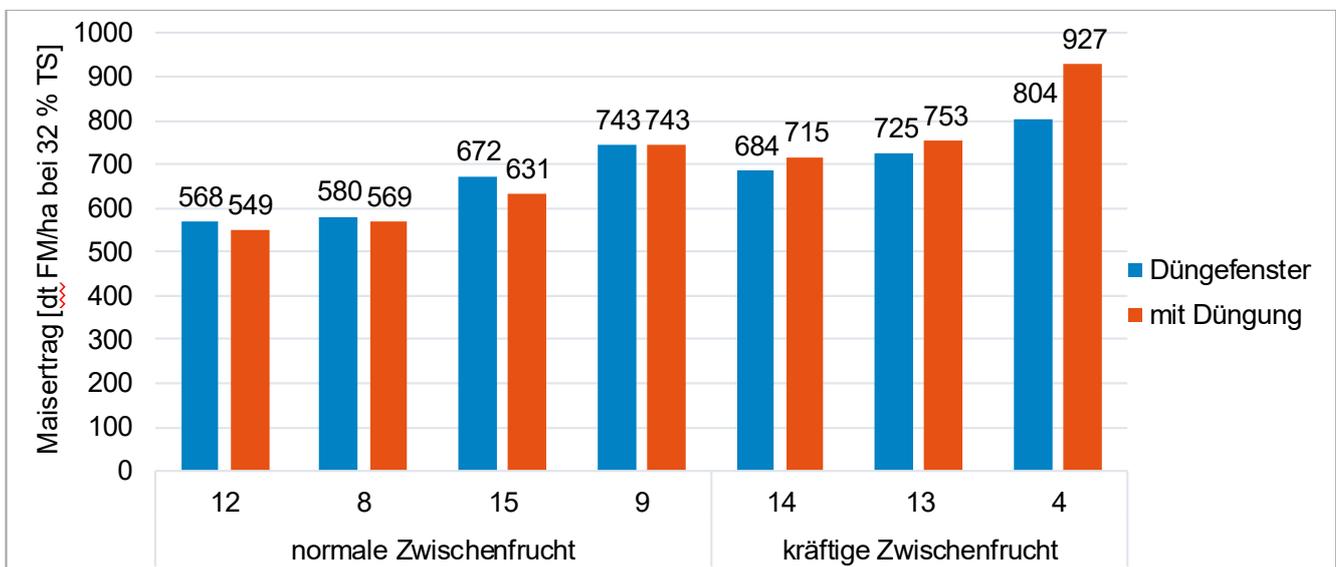
Die genannten Effekte konnten durch die Mais-Headernte in kleinräumigen und georeferenzierten Beprobungsfeldern bestätigt werden (Abbildung 20). Felder mit höheren Sandgehalten, meist leichtere D-Standorte, und geringeren N-Nachlieferungen durch eine normal entwickelte ZwFr, fielen durch eine höhere Ertragsdepression im Düngefenster auf. Mit einer hohen N-Aufnahme durch eine kräftige ZwFr wurde der Effekt kompensiert. Die Nährstofffreisetzung aus der vorwinterlich üppig entwickelten ZwFr, führte zur Ertragsneutralität mit der gedüngten Mais-Variante. Regional üblich wurden die Maisbestände häufig mit organischen Mehrnährstoffdüngern wie Gülle oder Gärrest versorgt.



Legende: FM = Frischmasse; TS = Trockensubstanz; Nummerierung = Standortbezeichnungen

Abbildung 20: Maisertrag auf anlehmigen bis lehmigen Sandstandorten im Jahr 2021 in Abhängigkeit von Düngung und zuvor normal (n=4) oder kräftig (n=2) entwickelten ZwFr

Lösslehmstandorte reagierten hingegen kaum mit Ertragsdifferenzen durch einen vorhergehenden ZwFr-Eintrag, unabhängig von dessen Masse (Abbildung 21).



Legende: FM = Frischmasse; TS = Trockensubstanz; Nummerierung = Standortbezeichnungen

Abbildung 21: Maisertrag auf Lösslehmstandorten im Jahr 2021 in Abhängigkeit von Düngung und zuvor normal (n=4) oder kräftig (n=3) entwickelten ZwFr

Im Jahr 2022 kam es, bedingt durch kühlere Witterungsverhältnisse, auf den Lösslehmstandorten zu einer verminderten bodenbürtigen N-Bereitstellung. Die Tabelle 3 verdeutlicht die Witterungseffekte im Zuckerrübenanbau für die Jahre 2021 und 2022. Deutlich geringere Erträge im nasskalten Frühjahr

2022, führten im Schnitt zu 35 % geringeren N-Entzügen. Im Maisanbau wurden hingegen nur moderate Ertragsreduktionen ermittelt.

Tabelle 3: Witterungsabhängiger Jahresvergleich von Rüben erträgen in und außerhalb der Düngefenster

Jahr	Ort	Standort	Absoluter Rüben ertrag [dt/ha] mit Düngung	Absoluter N-Entzug [kg/ha] mit Düngung	Relativer Rüben ertrag [%] im Düngefenster	Relativer N-Entzug [%] im Düngefenster
2021	1	Diluvial ohne ZwFr	981	246	97	96
	2	Diluvial ohne ZwFr	976	228	105	114
	3	Löß mit ZwFr	1.191	303	92	83
	4	Löß mit ZwFr	806	208	102	99
	5	Löß mit ZwFr	952	386	111	101
	6	Löß mit ZwFr	968	334	98	93
	7	Löß mit ZwFr	914	217	103	102
		Mittelwert	970	275	101	98
2022	8	Löß mit ZwFr	899	233	79	69
	9	Löß mit ZwFr	913	208	78	59
		Mittelwert	906	221	79	64

Permanente Nährstoffabfuhr mit Auslassen der Düngung und negative N-Salden führen zu einer ertragsdepressiven Abreicherung von Nährstoffen (Grunert, 2015). Die N_{\min} -Gehalte auf den Lößlehmstandorten im Frühjahr 2022 beliefen sich auf 110 kg N/ha. Die Getreidedüngung erfolgte einheitlich. Untersucht wurden die RP-Gehalte mittels Nahinfrarot-Sensorik (NIRS). An allen Standorten lag der mittlere RP-Gehalt in den ehemaligen Düngefenstern um 1 % unter den Bereichen mit betriebsüblicher Düngung. Sich fortsetzende negative N-Salden münden also auch auf tiefgründigen Standorten in einer Nichtausschöpfung des natürlichen Ertrags- und Qualitätspotentiales. Die Einhaltung eines ausgeglichenen N-Saldos von < 40 kg N/ha über die Fruchtfolge hinweg, hält das Auswaschungsrisiko gering und Überhänge können durch die anschließend angebaute Kultur aufgefangen werden. Wie sich aus den Düngefenstern in 2021 ableiten ließ, reagieren leichte diluviale Trockenstandorte schneller auf eine Düngungsreduktion. Die geringere Nährstoff- und Wasserhaltefähigkeit dieser Standorte, stellt ein höheres Auswaschungs- und N-Verlagerungspotential dar (Barkusky et al., 2009). N-Salden sollten auf diesen Böden jährlich ausgeglichen (<40 kg N/ha) sein, um negative N-Emissionen aus der Pedosphäre zu vermeiden.

3.1.4 Organische Düngung im Getreide

Mit den aufgezeigten N-Einsparpotentialen zu den Sommerungen, wird eine gleichmäßige Verteilung der flüssigen organischen Dünger notwendiger. Deren Einsatz wird durch die eingeschränkte Herbstdüngung von ZwFr im Nitratgebiet und das Düngeverbot auf gefrorenen und tagsüber auftauenden Böden erschwert. Die im Frühjahr übliche Gülleausbringung im Hundegang und Überfahrten mit schweren Gülletraktorgespanssen setzen allerdings eine ideale Befahrbarkeit der Böden voraus, um Schadverdichtungen und Ertragsdepressionen zu vermeiden.

In einer Ringuntersuchung wurden auf 23 Ackerflächen organische Düngesysteme und deren potentielle Auswirkung durch ertragsmindernden Überfahrungschäden miteinander verglichen (Tabelle 4). Hierbei wurden im Jahr 2021 durchschnittliche Mindererträge von 2-3 % aufgrund der Überrollung der Getreidebestände ermittelt. Im Jahr 2022 kam es, bei schlechter Befahrbarkeit auf einem Lößlehmstandort, zu einem Ertragsverlust in Höhe von 8 %. Im gleichen Jahr konnte in Röhrsdorf, bei idealen Ausbringbedingungen, ein positiver Ertragseffekt in Höhe von 10 dt/ha für die organische und organomineralische Düngevariante in einer Demonstration gezeigt werden (Tabelle 5, Abbildung 22). Trotz zeitiger Andüngung mit einem stabilisierten schwefelhaltigen N-Dünger, präsentierten sich die rein mineralisch gedüngten Bestände optisch heller (Abbildung 22). Höhere Biomassen bei ähnlichen TM- und Nährstoffgehalten, führten in den organisch gedüngten Varianten zu höheren Nährstoffaufnahmen. Die gute N-Verfügbarkeit aus den genutzten Düngemitteln, unter Beachtung eines für diesen Vorgebirgsstandort frühen Düngetermins, wurde offensichtlich.

Tabelle 4: Auswirkung der Überführung von Getreidebeständen mit verschiedenen Güelledungssystemen

Betrieb	Kultur	Maschine mit Ausbringer		Fassgröße in m ³	Gewicht (befüllt) in t	Bemerkung	Kornertrag im Bereich		Spurbreite in m	Arbeitsbreite in m	Spuranteil in m	Ertragsreduktion auf Gesamtfläche in %
							ohne Spur	mit Spur				
							in dt/ha	in dt/ha				
1	WW	SF	Schleppschlauch	20	46	Hundegang	110	110	2,1	12	18	0
2	WW	SF	Schleppschuh	20	46	Hundegang	95	87	2,7	8	36	3
3	WW	TF	Schleppschlauch	15	35	Gespann	88	76	1,4	12	12	1
5	WTr	SF	Schlitzgerät	20	48	Hundegang	74	63	4	8	50	7
6	WTr	SF	Schlitzgerät	15	35	Hundegang	93	90	4	6	67	2
7	WTr	TF	Schlitzgerät	20	37	Gespann	37	28	1,8	6	27	6
8	WRo	SF	Schleppschlauch	21	48	Hundegang	59	54	4	15	27	2
9a	WRo	TF	Schleppschlauch	18	37	Gespann	37	46	1,8	9	15	0
9b	WG	TF	Schleppschlauch	18	37	Gespann	75	57	1,8	9	15	4
10	WW	SF	Schlitzgerät	20	46	Hundegang	97	96	4	8	50	1
11	WW	SF	Schleppschuh	20	46	Hundegang	102	98	2,7	8	36	1
12a	WW	SF	Schleppschuh	21	42	Hundegang	89	78	4	18	22	3
12b	WW	SF	Schleppschuh	21	42	Hundegang	106	82	4	18	22	5

Betrieb	Kultur	Maschine mit Ausbringer		Fassgröße in m ³	Gewicht (befüllt) in t	Bemerkung	Kornertrag im Bereich		Spurbreite in m	Arbeitsbreite in m	Spuranteil in m	Ertragsreduktion auf Gesamtfläche in %
							ohne Spur	mit Spur				
							in dt/ha	in dt/ha				
13	WW	T	Schlitz- gerät	-	15	Verschlau- chung	72	70	1,8	12	15	1
14	WW	SF	Schlitz- gerät	20	46	Hundegang	68	71	4	8	50	0
15	WW	TF	Schlepp- schlauch	26	50	Gespann	66	57	1,8	18	5	1
16b	WW	T	Schlepp- schuh	-	10	Verschlau- chung	83	79	1,8	15	12	1
18	WW	T	Schlitz- gerät	-	15	Verschlau- chung	75	80	1,8	12	15	0
19	WW	SF	Schlitz- gerät	20	46	Hundegang	120	114	4	8	50	3
20a	WW	SF	Schlitz- gerät	21	48	Hundegang	88	78	4	8,5	47	6
20b	WW	SF	Schlitz- gerät	21	48	Hundegang	70	70	4	8,5	47	0
21a	WW	TF	Schlitz- gerät	10	23	Verschlau- chung	76	64	2,8	12	23	4
21b	WW	TF	Schlitz- gerät	10	23	Verschlau- chung	78	59	2,8	12	23	6
22	WW	TF	Schlepp- schlauch	15	29	Gespann	66	56	1,5	9	17	3
23	WG	SF	Schlitz- gerät	21	46	Hundegang	49	40	4	12	33	7

Legende: WW = Winterweizen; WT = Wintertriticale; WRo = Winterroggen; WG = Wintergerste

Tabelle 5: Düngungsvarianten zu Winterweizen in der Praxisdemonstration Röhrsdorf 2022

Düngetermin	Betriebsübliche Düngung	Organische Düngung	Mineralische Düngung
01.03.22 EC25	40 kg N/ha aus KAS		100 kg N/ha Rapspower
11.03.22 EC29	70 kg N/ha aus Gärrest (20 m ³ /ha bei 3,4 kg NH ₄ -N/t FM)	105 kg N/ha aus Gärrest (30 m ³ /ha mit 3,4 kg NH ₄ -N/t FM)	
03.06.22 EC37	50 kg N/ha aus KAS	50 kg N/ha aus KAS	50 kg N/ha aus KAS

Legende: EC = Entwicklungsstadium bei Wintergetreide mit EC25 und EC29 Bestockungsstadien, EC37 Fahnenblattstadium

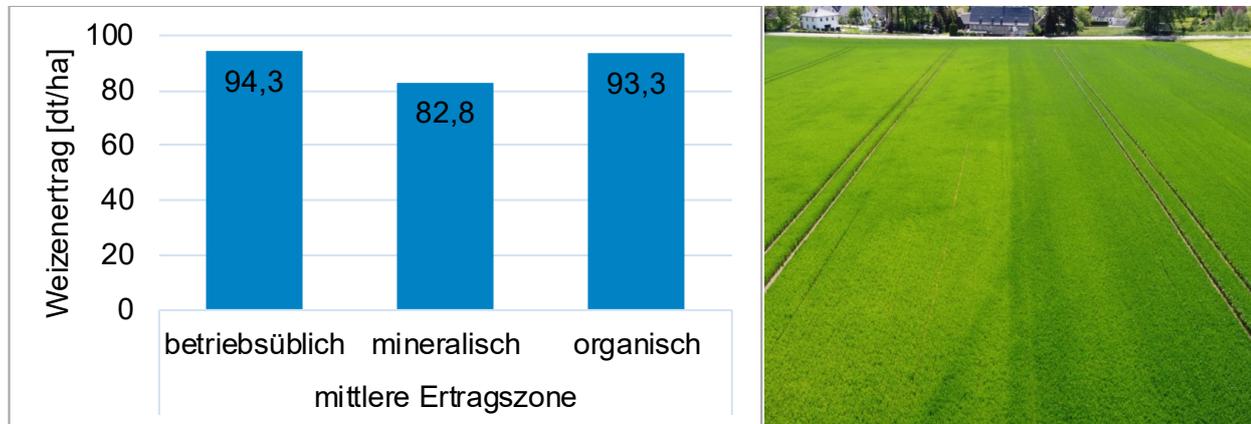


Abbildung 22: Weizenerträge bei organo-mineralischer (betriebsüblich, n=3), rein mineralischer (n=1) und rein organischer (n=1) Düngung. Im Bild sind die Auswirkungen einer rein mineralischen (links) und organo-mineralischen (rechts) Düngung erkennbar, Röhrsdorf am 19.05.2022 (Bild: AgUmenda GmbH)

Bei der Anwendung von flüssigen organischen Düngemitteln ist eine zeitige mineralische Andüngung mit einem schnell wirkenden nitrathaltigen Dünger zu empfehlen. Auf S-Mangelstandorten ist für die Andüngung entweder ein nitrathaltiger Schwefeldünger zum gleichen Termin oder ein ammoniumhaltiger Schwefeldünger zu einem noch früheren Zeitpunkt (ab Mitte Februar) zu nutzen. Vor allem Raps sollte, aufgrund seines hohen und frühen S-Bedarfs, eine entsprechende schwefelhaltige Düngestrategie zusätzlich zur Anwendung organischer Dünger erfahren.

3.1.5 Zeitpunkt des idealen Düngetermins

Ergänzend zu den Ausführungen zum Einsatz der organischen Dünger im Getreide (Kap. 3.1.4) stellt sich in den Betrieben die Frage nach dem optimalen Einsatzzeitpunkt der z. T. vorkontraktierten Düngemittel. Im Rahmen einer mehrjährigen und dynamisch angepassten Demonstrationsreihe auf nordsächsischen Trockenstandorten wurde der Düngestrategie zu Winterweizen (Kompensationstypen) unter Beachtung der Saatstärke besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die Ausgangsbedingungen sowie Düngungsumsetzungen sind der Tabelle 6 und der Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 6: Ausgangsbedingungen und Prüffaktoren an den Standorten der Demonstrationsreihe

Jahr	2021	2022	2023	2023
Standort	Rödgen	Kleinbardau	Kleinbardau	Dubrauke
Bodenart	stark lehmiger Sand (Sl4)	schluffig lehmiger Sand (Slu), z. T. steinig	mittel sandiger Lehm (Ls3), z. T. steinig	schluffig lehmiger Sand (Slu)
Bodenpunkte	42-49	48	51	35
Prüffaktor: Saatstärke	200 und 400 Körner	200 und 400 Körner	200 und 400 Körner	300 Körner
Prüffaktor: Düngung	2 Düngevarianten (n=4)	2 Düngevarianten (n=4)	3 Düngevarianten (n=4)	3 Düngevarianten (n=4)
Vorfrucht	Silomais	Raps	Raps	Weizen
Bodenbearbeitung	Pflug	pfluglos	pfluglos	pfluglos
Weizensorte	RGT Reform	Kashmir	Kashmir	RGT Reform
Aussaattermin	06.10.2020	12.10.2021	12.10.2022	13.10.2022
N_{min} in 0-90 cm	42 kg/ha	58 kg/ha	70 kg/ha	35 kg/ha
N-Menge	180 kg/ha	160 kg/ha	150 kg/ha	190 kg/ha

Tabelle 7: Düngetermine und -varianten an den Standorten der Demonstrationsreihe

Termin	2021 Rödgen		2022 Kleinbardau		2023 Kleinbardau			2023 Dubrauke		
	KAS zu VB [kg N/ha]	stab. HD [kg N/ha]	KAS zu VB [kg N/ha]	stab. HD [kg N/ha]	KAS vor VB [kg N/ha]	KAS zu VB [kg N/ha]	stab. HD [kg N/ha]	KAS vor VB [kg N/ha]	stab. KAS zu VB [kg N/ha]	stab. HD [kg N/ha]
Ende Februar	-	130 (NI/UI)	-	120 (NI/UI)	55	-	110 (NI/UI)	60	-	130 (NI/UI)
Mitte März	60	-	50	-	-	55	-	-	60	-
Mitte April	60	-	60	-	55	55	-	70	70	-
Mitte Mai	-	50 (UI)	50	40 (UI)	40	40	40 (UI)	60	60	60 (UI)
Anfang Juni	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	180	180	160	160	150	150	150	190	190	190

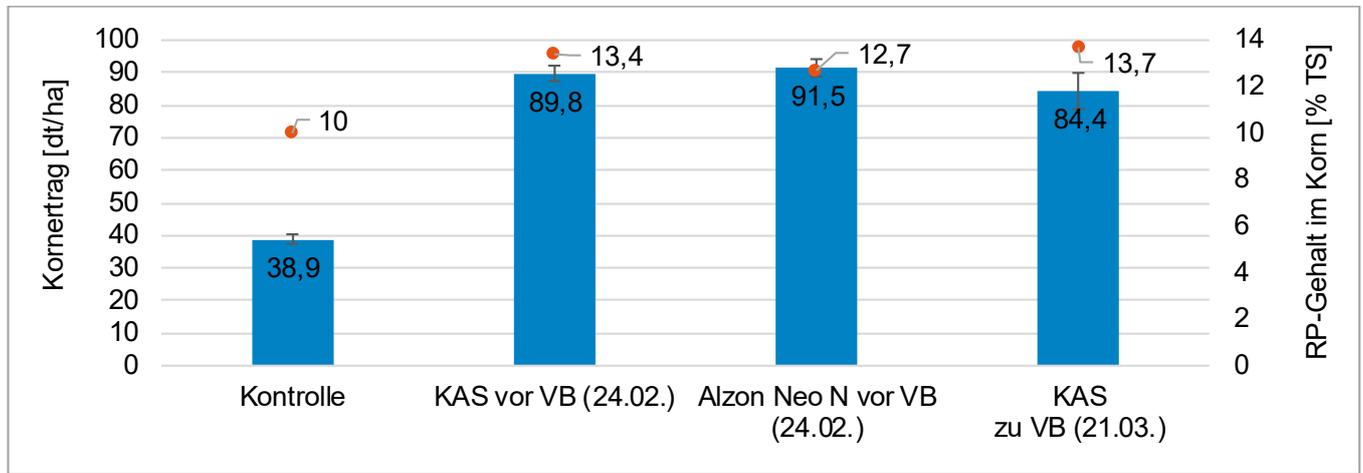
Legende: HD = Harnstoffdünger; NI = Nitrifikationsinhibitor; UI = Ureaseinhibitor; stab. = stabilisiert; VB = Vegetationsbeginn

Die Ergebnisse des Trockenjahres 2022 (Tabelle 8) verdeutlichen wie wichtig es ist, dass der Dünger nicht nur an der Bodenoberfläche gelöst wird, sondern in den tieferen Wurzelraum gelangt. Unter trockenen Bedingungen sollte deshalb vor allem die Schossergabe deutlich vorgezogen werden. Bei geringem Frühjahrs-N_{min} und/oder schwacher Bestandesentwicklung erscheint auch eine Andüngung vor Vegetationsbeginn sinnvoll (Abbildung 23). Eine vor dem Vegetationsbeginn verabreichte ammoniumbetonte Düngung mit stabilisiertem Harnstoff erzielte bei den angebauten Weizensorten (Kompensationsstypen) sehr gute Ergebnisse. Als langsam fließende N-Quelle ist auch bei hohen N-Mengen kein Überwachsen der Bestände zu befürchten (Bauer, 2012). Zeitgleich ist das Risiko für Nitrat- oder Lachgasverluste bei wassergesättigten Böden im Spätwinter bis zum Vegetationsbeginn reduziert und arbeitswirtschaftliche Vorteile dieses Düngesystems können im Betrieb genutzt werden (Mallast et al., 2022).

Tabelle 8: Kornertrag in dt/ha (Rohprotein Korn [% TM]) je Saatstärke und Düngestrategie (Standorte 2021: Hohenprießnitz; 2022 u. 2023: Kleinbardau)

Saatstärke	Düngestrategie	2021	2022	2023
200 Körner/m ²	KAS VB	95,3 (13,6)	64,8 (15,7)	91,6 (12,7)
200 Körner/m ²	HD	96,7 (13,6)	69,5 (14,2)	95,3 (12,6)
200 Körner/m ²	KAS vor VB	-	-	96,5 (12,9)
400 Körner/m ²	KAS VB	96,0 (13,5)	69,7 (15,3)	98,4 (12,7)
400 Körner/m ²	HD	99,4 (13,8)	74,6 (14,2)	99,2 (12,8)
400 Körner/m ²	KAS vor VB	-	-	101,1 (12,8)

Legende: HD = Harnstoffdünger; KAS = Kalkammonsalpeter; RP = Rohprotein; TM = Trockenmasse; VB = Vegetationsbeginn

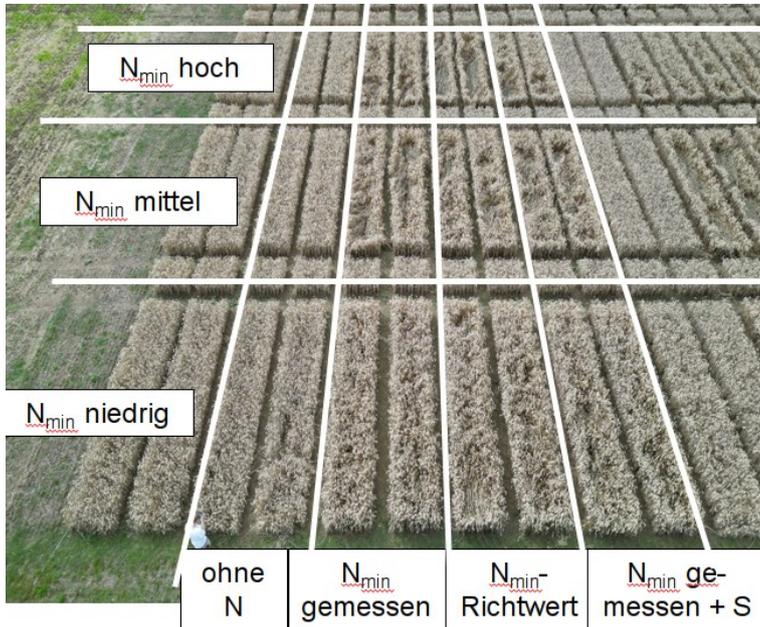


Legende: Alzon® neo-N = mineralischer N-Dünger mit Urease- und Nitrifikationsinhibitor, KAS = Kalkammonsalpeter; TS = Trockensubstanz, RP-Gehalt = Rohprotein-Gehalt; VB = Vegetationsbeginn

Abbildung 23: Auswirkungen verschiedener Düngestrategien auf Ertrag und RP-Gehalt, Dubrauke, 2023 (n=4)

3.1.6 N_{min}-Beprobung

Kenntnisse über Standort, Vorfrucht und den daraus resultierenden N_{min}-Gehalt, sind für die Düngplanung der Winterkulturen, welche ihren Massenzuwachs und die Nährstoffaufnahme bereits im Juni abschließen und damit nicht so stark von der Nährstofffreisetzung profitieren, von besonderer Bedeutung. In einem flächentreuen Parzellenversuch führten hohe N_{min}-Gehalte in der ungedüngten Nullparzelle zu einer um 60 kg N/ha höheren N-Aufnahme, als in den gedüngten Parzellen. Die unter Verwendung des durch das LfULG veröffentlichten N_{min}-Richtwertes gedüngten Weizenbestände (170 kg N/ha, Sorte Asory) mit ebenfalls bereits hohen bodenbürtigen N_{min}-Werten im Frühjahr, zeigten eine sehr hohe Lagerneigung (Abbildung 24). Die Ergebnisse stellen anschaulich die Notwendigkeit für eigene N_{min}-Untersuchungen dar.



Legende: S = Schwefel

Abbildung 24: Auswirkungen der Düngung in Abhängigkeit des vorhandenen N_{min} -Gehaltes im Frühjahr auf die Lagerneigung (Bild: AgUmenda GmbH)

Aus dem Projekt »Präzision und Aussage von N_{min} -Untersuchungen« ging hervor, dass die Vorfrucht, die Kultur, die Düngestrategie und die Bodenheterogenität in der Planung einer qualifizierten N_{min} -Bodenprobenahme berücksichtigt werden müssen (Theiß & Schliephake, 2020a; Theiß & Schliephake, 2020b). Auf einem Schlag im Raum Großenhain wurde die Festlegung der Bodenprobenahmepunkte auf einer satellitengestützten Ertragspotentialkarte vorgenommen (Abbildung 25).

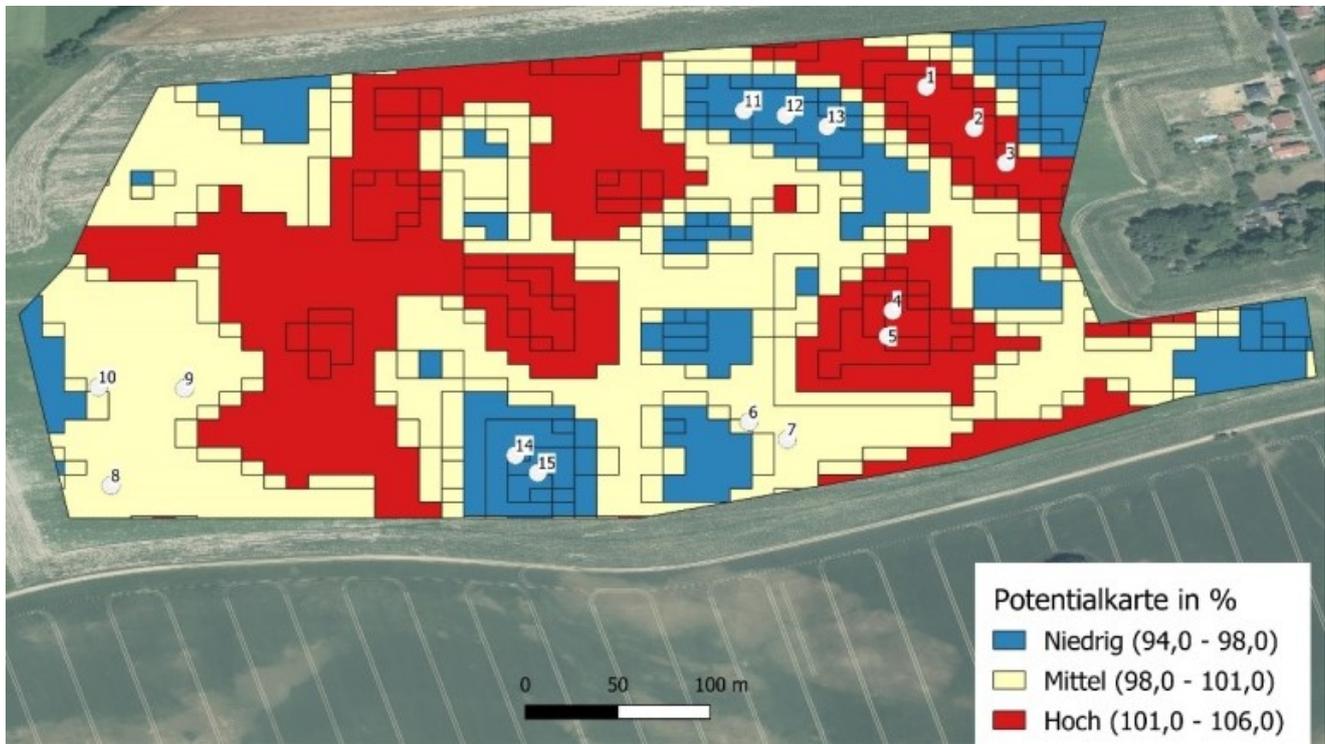
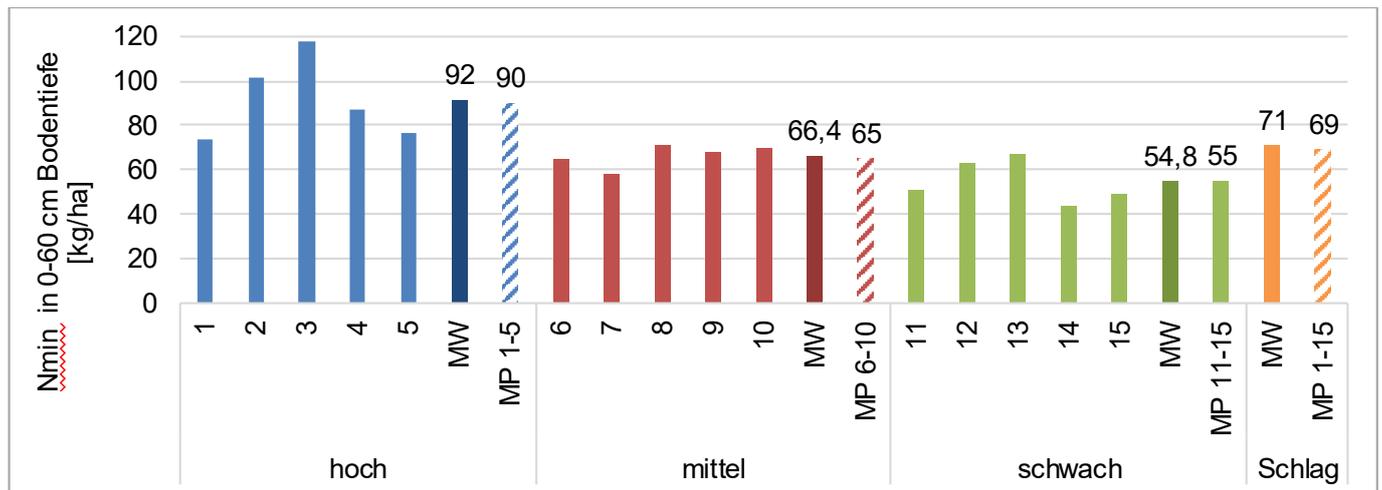


Abbildung 25: Ertragspotentialkarte mit N_{\min} -Beprobungspunkten für einen diluvialen Standort bei Großenhain (Luftbild: GeoSN, dl-de/by-2-0)

In Abhängigkeit von der Bodengüte (Bodenart) variierten die N_{\min} -Gehalte im Frühjahr im Winterweizen zwischen 55 und 90 kg N_{\min} /ha in 0-60 cm Bodentiefe. Es zeigte sich die Bedeutung einer gewissenhaften Homogenisierung der zu einer Mischprobe zusammengeführten Teilproben je Ertragspotentialzone (Abbildung 26).



Legende: MP = Mischprobe; MW = Mittelwert (n=5)

Abbildung 26: N_{\min} -Werte in 0-60 cm Bodentiefe für Einzel- und Mischproben je Ertragspotentialzone eines Weizenschlages bei Großenhain (Frühjahr 2020)

Im eher trockenen Jahr 2020 wurde der Einfluss der Wasserhaltefähigkeit des Bodens auf die Ertragsbildung und damit auf die Nährstoffentzüge deutlich (Abbildung 27). Mit 130 kg N/ha wurde der untersuchte Weizenbestand extensiv, mit dem Ziel der Erzeugung der Vermarktungsstufe B, gedüngt. In allen Ertragspotentialzonen ergab sich ein einheitlicher RP-Gehalt von ca. 11,5 %, womit N-Überhänge nicht erwartet werden konnten. Dies bestätigte sich in den Nachernte-Untersuchungen, da in allen Zonen ein einheitlicher N_{\min} -Gehalt in Höhe von ca. 40 kg/ha analysiert wurde. Ohne Beachtung der Boden-Heterogenität hat der Betrieb mit der gewählten Düngestrategie die Bestandesführung sehr N-effizient realisiert. Auf den tiefgründigeren Teilbereichen wurden durch höhere Erträge mehr Nährstoffe abgefahren und der höhere pflanzenverfügbare N_{\min} -Gehalt fand so Berücksichtigung.

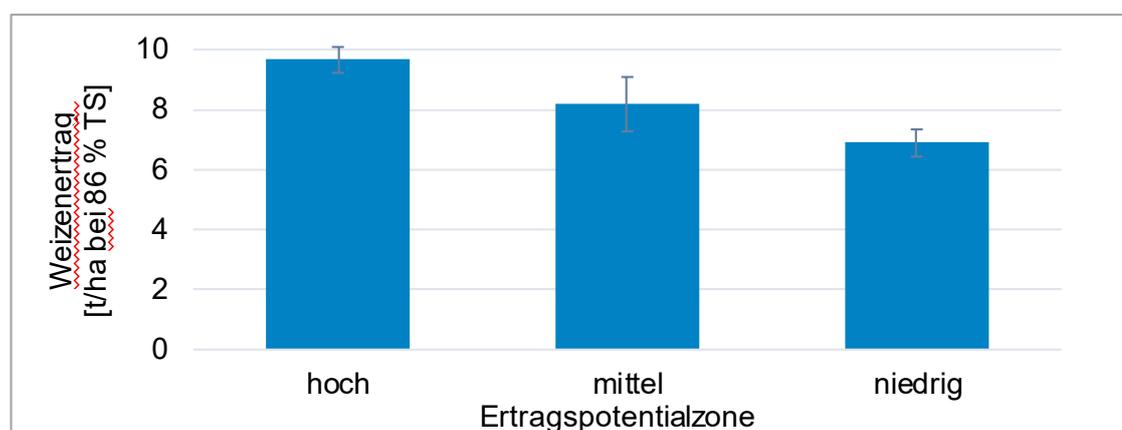


Abbildung 27: Weizenerträge je Ertragspotentialzone auf einem D-Standort bei Großenhain in 2020

3.1.7 Düngung genauer gestalten mit Precision Farming

Für die Düngung nach Teilflächen ist das Wissen über die Heterogenität des Bodens essentiell. Im vorangegangenen Beispiel (Kap. 3.1.6) wurde gezeigt, dass die Wahl einer extensiven Düngestrategie zu einer kleinräumig optimalen Applikation der Nährstoffe führte. Intensivere Düngevarianten oder die Nutzung ungenauer Entscheidungskurven sensorgestützter Düngesysteme, könnten zu höheren N-Überhängen in einzelnen Schlagteilen führen. Für D-Standorte ist es in den meisten Fällen ratsam, das Produktionsniveau in den schlechten Zonen kostenoptimiert zu gestalten (Abbildung 28). Kuperierte Lößhügelstandorte mit einem nährstoffnachlieferungsstarken Kolluvisol in den Abflussbahnen, bedürfen in diesen Bereichen einer verhaltenen Düngestrategie, um einen zu üppigen krankheits- und lageranfälligen Getreidebestand zu vermeiden.

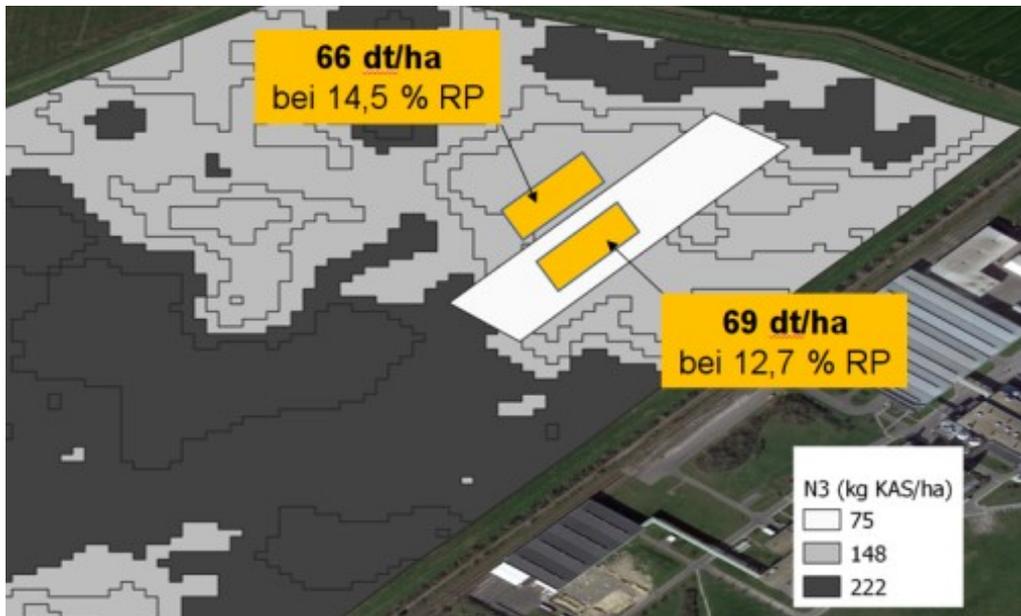
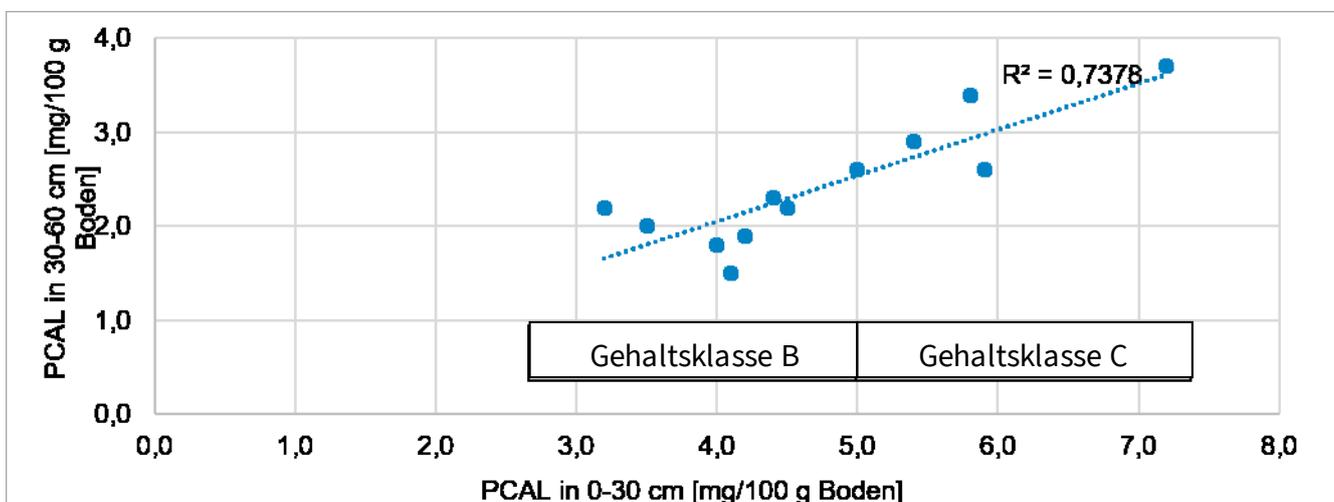


Abbildung 28: Differenzierte Düngehöhen zur dritten Gabe (75 bzw. 148 kg KAS/ha) auf einem D-Standort im schlechten Teilbereich des Schlages sowie die Auswirkung auf Ertrag und RP-Gehalt (n=4) (Luftbild: GeoSN, dl-de/by-2-0)

Ebenfalls fand die P-Düngung Berücksichtigung bei der teilflächenspezifischen Düngung. Auf Grundlage von mehrjährigen Satellitenbildern zum Zeitpunkt der Abreife, wurde die Einteilung des Schlages in eine Ertragspotentialkarte vorgenommen. Tendenziell zeigten sich höhere P-Versorgungsstufen in den flachgründigen Bereichen, welche ab einer Tiefe von 30 cm einen hohen Sandanteil und damit eine geringe Nährstoff- und Wasserhaltefähigkeit aufwiesen. Durch die jährlich unterschiedlichen Nährstoffentzüge bei gleicher Grundnährstoffdüngung kam es zu einer stärkeren P-Abreicherung in den Hohertragsbereichen (Abbildung 29). Eine gut geplante georeferenzierte Bodenbeprobung ist vor dem Hintergrund der Ertragssicherung, bei zunehmend trockenen Bodenbedingungen, für eine bedarfsgerechte, teilflächenspezifische Düngung als wichtig einzuschätzen. Verstärkend wirkt sich die Erkenntnis aus, dass die Gehalte des Calcium-Acetat-Lactat löslichen P in 0-30 cm und in 30-60 cm Bodentiefe stark korrelieren (Abbildung 30). Unter trockenen Bodenverhältnissen ist eine P-Aufnahme aus tieferen Bodenschichten für gut versorgte Teilbereiche möglich, wodurch die Ertragsdiskrepanzen zusätzlich verstärkt werden (SCHWEITZER et al., 2017)



Abbildung 29: P-Versorgung in 0-30cm nach VDLUFA in Döschütz, 2022 (Luftbild: GeoSN, dl-de/by-2-0)



Legende: P_{CAL} = Calcium-Acetat-Lactat löslicher P; R^2 = Bestimmtheitsmaß

Abbildung 30: Beziehung zwischen pflanzenverfügbarem P in 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe; Einteilung in die Gehaltsklassen C und B für Trockengebiete (n=12)

3.1.8 Zwischenfazit zur Nährstoffeffizienz

In Beratungen und Demonstrationen wurden bekannte wissenschaftliche Zusammenhänge zur Nährstoffeffizienz aufgegriffen und an die sächsischen Naturräumlichkeiten und düngerechtlichen Vorgaben im Nitratgebiet adaptiert. Neben der Veranschaulichung von pflanzenbaulichen Grundkenntnissen, wurden innovative Ansätze erprobt. Nachfolgende Zusammenfassung gibt einen Überblick über wichtige Aspekte eines effizienten N-Einsatzes:

- Eine Düngeplanung, die auf realistischen Erträgen unter Berücksichtigung der naturräumlichen Besonderheiten fußt, führt zu einer ökonomisch und ökologisch verträglichen Düngestrategie. Hervorzuheben ist die Bedeutung einer optimalen Verteilung der organischen Dünger und ein daraus resultierendes Einsparpotential für mineralische Düngemittel.
- Jährlich erstellte N-Aufnahmekurven erlauben die Übersetzung von Vegetationsindizes in eine anwendbare N-Düngestrategie bei der biomasseabhängigen Rapsdüngung.
- Kenntnisse über die bodenbürtige N-Nachlieferung und die N-Freisetzung aus zuvor angebauten ZwFr, ist für einen gezielten und an den Pflanzenbedarf angepassten N-Einsatz unerlässlich. Gerade auf leichten Böden ist das höhere Auswaschungspotential zu beachten und N-Überhänge sind dringend zu vermeiden.
- Die Verteilung organischer Dünger im Rahmen der Fruchtfolge und auf einem hohen Anteil der Betriebsflächen, als auch der bedarfsgerechte Einsatz während des Pflanzenwachstums stellen wichtige Säulen für ein gutes Nährstoffmanagement dar. Einschränkend wirken jedoch die Vorgaben nach DüV, welche mit einem über die Reduzierung von Nährstoffverlusten hinaus auf den gesamten Acker- und Pflanzenbau gerichteten Blick z. T. fachlich z. T. nur schwer nachvollziehbar sind. Zu nennen sind hier die Bestimmungen zur Getreidedüngung im Herbst, das Ausbringverbot auf gefrorenem Boden im Frühjahr oder das Verbot der Zwischenfruchtdüngung im Herbst im Nitratgebiet bei Nichtnutzung
- Bedingt durch die Einflussfaktoren Standort, Vorfrucht und Düngestrategie auf die N_{\min} -Gehalte, bildet eine präzise Beprobung den Grundstein für eine bedarfsgerechte N-Düngung. Auf tiefgründigen Lößlehmstandorten sollte der Unterboden einbezogen werden. Einspareffekte sind nach nachlieferungsstarken Vorfrüchten wie Leguminosen zu erwarten. Da unterschiedliche Bodenarten differenzierte N_{\min} -Gehalte aufweisen können, führt eine teilflächenspezifische Beprobung nach Ertragspotentialkarten zu präziseren Ergebnissen.
- Verbesserungen im Bereich der N-Effizienz sind durch eine ausgewogene Nährstoffversorgung zu erzielen. P spielt eine wesentliche Rolle für die Vitalität, Bestockungsleistung und bessere Ausbildung der Ertragsorgane.
- N_{\min} -Wert, N-Versorgungszustand, Düngeform und -zeitpunkt sind wichtige Stellschrauben für hohe Erträge bei gegebenen Qualitätsstufen. Durch die Bestimmung des N-Ernährungszustandes während des Streckungswachstums bzw. zum Ährenschieben kann die finale Düngehöhe unter den herrschenden Witterungsbedingungen präzisiert werden. Operative Einspareffekte sind mittels N_{\min} -Methode und Nitratschnelltest möglich.

- Satellitengestützte mehrjährige Abreifekarten, welche unter Nutzung geostatistischer Verfahren zu einer Zonenkarte verrechnet werden, können als Arbeitsgrundlagen für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung dienen. Erprobte Anwendungsoptionen bilden die Erfassung der aktuellen Nährstoffsituation bei Raps und Getreide oder die teilflächenangepasste Düngung. Die Weiterentwicklung der Erstellung und Validierung von Ertragspotentialkarten mündete in einem weiterführenden Forschungsprojekt des LfULG.
- Naturräumlich homogene Teilbereiche, die jährlich reproduzierbar sind, bieten eine Erleichterung für acker- und pflanzenbauliche Entscheidungen. Angepasst an das bodenabhängige Ertragspotential gilt es die Düngestrategie für die Nährelemente auszurichten. Es gilt die Einsparpotentiale in den nährstoffreichen Senken von Lößlehmstandorten und für die sandigen ertragsschwachen Zonen auf den D-Standorten weiter zu verbessern.

3.2 Schutz des Bodens vor Erosion

Schadhaften Bodenabtrag (Abbildung 31) nach guter fachlicher Praxis zu vermeiden, ist für eine über Jahrzehnte planende landwirtschaftliche Unternehmung Grundanliegen zur Produktions- und dauerhaften Existenzsicherung. In Sachsen sind die fruchtbarsten Ackerbauregionen im Lößhügelland von einem hohen Erosionsrisiko gekennzeichnet. Gründe sind die schluffhaltigen und damit verschlammungsanfälligen Böden, das stark kuptierte Relief in Kombination mit großen Schlägen (> 15 ha) und den daraus resultierenden langen Hanglängen. Die durch den Klimawandel bedingte Zunahme von Starkniederschlagsereignissen führt aktuell und zukünftig zu einer erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeit von wasserbedingten Bodenabträgen. Neben dem dauerhaften Verlust der Produktionsgrundlage, sind die Landwirtschaftsbetriebe einem erhöhten öffentlichen und rechtlichen Druck im Rahmen der Ereignisse ausgesetzt.

Ob mit dem Simulationsprogramm EROSION-3D (E3D) oder der allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) definiert, setzt sich das Erosionsrisiko aus den Faktoren Erodierbarkeit, Regenerosivität, Hanglänge, Hangneigung, Bodenbedeckung (SCHWERTMANN et al., 1987) zusammen. Im Zuge von Beratung und Demonstrationen, wurden die Kulturen nach deren Erosionsanfälligkeit unterteilt. Weitere präventive Maßnahmen mit einfacher technischer Umsetzung und Schlaggestaltung wurden separat betrachtet.



Abbildung 31: Wassererosion in 2022 (Bild: AgUmenda GmbH)

3.2.1 Inventur über ortsüblich genutzte Bodenbearbeitungssysteme

Als Grundlage für die Beratung und zur Gewinnung von Untersuchungsansätzen für die Demonstrationen, erfolgte eine Inventur der von den Kooperationsbetrieben gewählten Bodenbearbeitungsverfahren. Deren Auswirkungen auf die Bodenbedeckung und Rauigkeit, als wichtige Einflussfaktoren für die Erosionsanfälligkeit, wurden eingeschätzt.

Im Rahmen der Erhebung der Bodenbedeckung und deren dezidierten Beurteilung wurde ein Methodenvergleich zwischen manueller Bestimmung nach WINNIGE et al. (1998) und digitaler Ermittlung mittels Bildauswertung durchgeführt. Ziel war es die Korrelation zwischen beiden Verfahren für die fachliche Diskussion zu definieren. Nach FRIELINGHAUS et al. (2002) ist eine Ackerfläche ausreichend vor Bodenabtrag geschützt, wenn der Bodenbedeckungsgrad $> 30\%$ beträgt (Bestimmung nach WINNIGE et al., 1998). Für die Erosivität sind zusätzlich weitere Faktoren wie die Lagerungsdichte oder Art und Zeitpunkt der Bodenbearbeitung zu nennen. Organische Auflagen reduzieren die Aufprallenergie des Regentropfens, wodurch die Bodenaggregate weniger plastisch zerkleinert werden und somit die Verschlammung verringert und die Infiltration erhöht wird. Der in Abbildung 32 beschriebene Zusammenhang zwischen den Bestimmungsmethoden wurde in eigenen Untersuchungen gefunden, ohne bei der manuellen Einschätzung nach WINNIGE et al. (1998) den Einfluss der bonitierenden Person zu benennen. Offensichtlich wird die Unterschätzung der Bodenbedeckung mittels digitaler Methode im nach FRIELINGHAUS et al. (2002) entscheidenden Bereich von 20-40 %. Alle im Folgenden dargestellten Ergebnisse wurden mit der digitalen, arbeitseffizienten und personenunabhängigen Bildauswertung bestimmt.

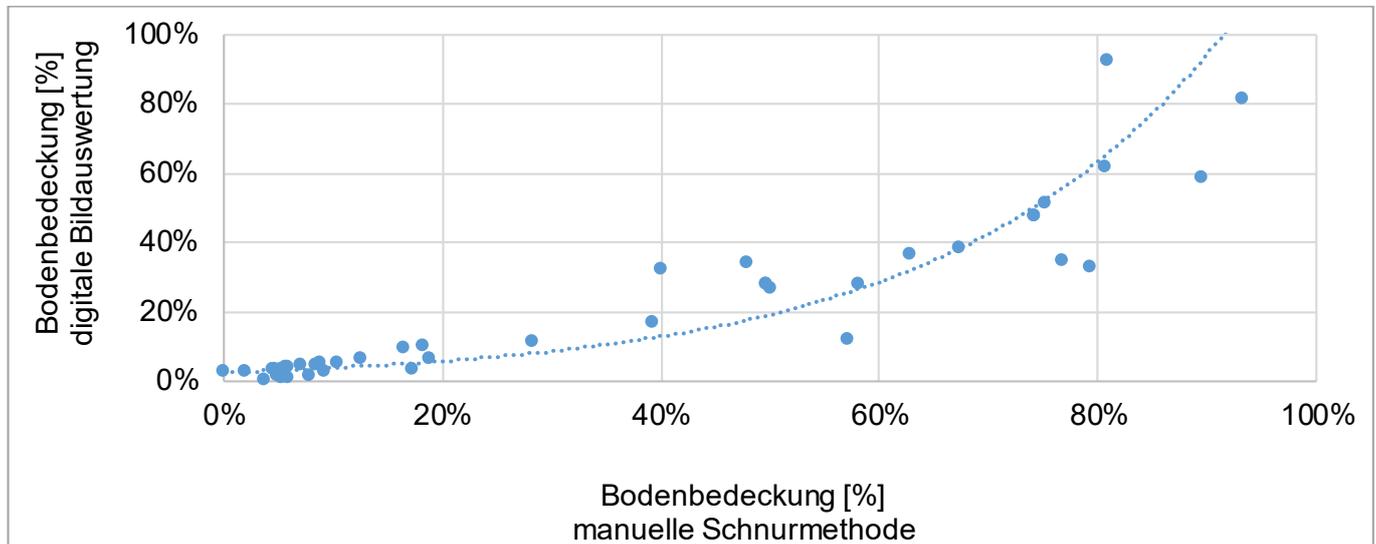


Abbildung 32: Korrelation zw. Schnurmethode nach Winnige et al. (1998) und digitaler Bildauswertung (n=40)

3.2.2 Bodenbearbeitungsverfahren zu Mais und Zuckerrüben

In den Jahren 2021 und 2022 wurden Ringuntersuchungen zu den gewählten Bodenbearbeitungsverfahren bei Mais und Zuckerrübe durchgeführt. Dabei wurden der Pflanzenbewuchs, die Bodenbedeckung und die organische Auflage sowie Rauigkeit nach der Saat ermittelt. Es zeichnete sich eine einheitliche Bodenbearbeitungsstrategie in den beiden Untersuchungsjahren in den Betrieben ab. Diese wurde hauptsächlich durch die Notwendigkeit zur Ausbringung organischer Dünger im Frühjahr beeinflusst. Nach der Applikation bestand häufig die Notwendigkeit, den Boden mit einem Grubber bis in eine Tiefe von 10-15 cm zu lockern und einzuebnen. Hohe Radlasten der Ausbringer bei feuchtem Boden verursachten Verdichtungen und Unebenheiten, welche zu einem inakzeptablen Feldaufgang hätten führen können. Nur wenige Betriebe vollzogen die Bodenbearbeitung, in dem sie entweder extensiv oder konventionell mit dem Pflug arbeiteten. Die konservierende Mulchsaat war die gängige Bearbeitungspraxis. Dieses Verfahren weiter abtragsmindernd zu qualifizieren, ist zukünftig näher zu analysieren. Die weitere Extensivierung stellt die Betriebe vor große Herausforderungen, weil das etablierte System eine kostengünstige Verfahrens- und damit auch hohe Ertragsicherheit bietet. Die Einteilung und Auswertung für das Bodenbearbeitungskataster erfolgte in extensive, übliche, intensive und sehr intensive Systeme. Einzig mit extensiven Strategien wie Strip-Till, Direktsaat oder ultraflacher Bodenbearbeitung kann ein Resultat mit über 33 % Bodenbedeckung von den Landwirtschaftsbetrieben erzielt werden (Abbildung 33).

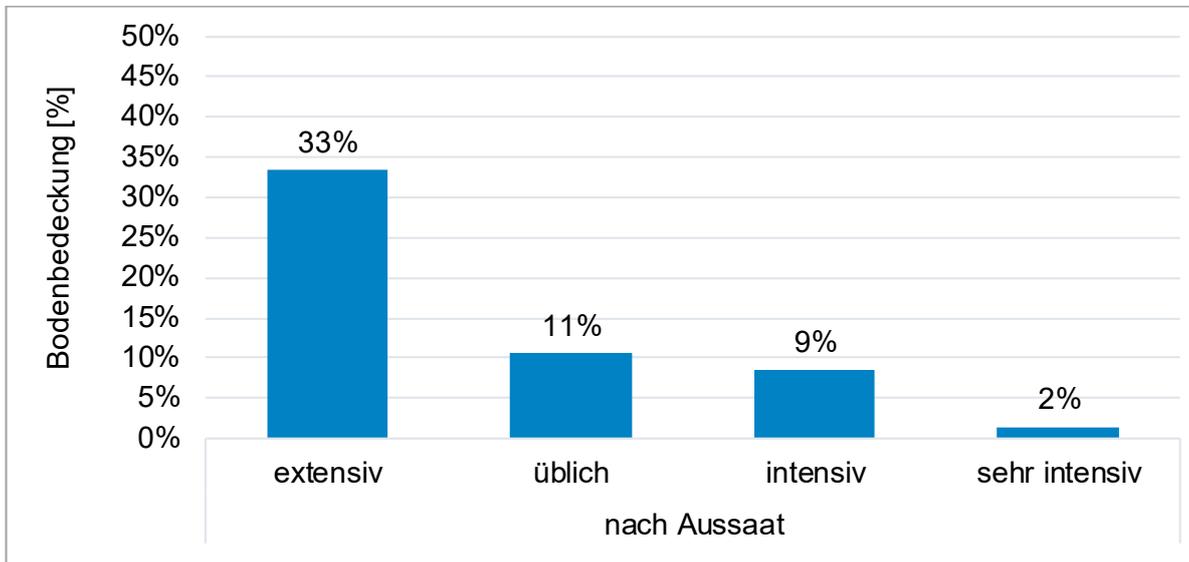


Abbildung 33: Bodenbedeckung nach der Aussaat von Mais und Zuckerrüben in Abhängigkeit der Bearbeitungsintensität in 2021 und 2022 (n=55)

In der detaillierteren Betrachtung wird eine Variation in der Bearbeitungsintensität zwischen Mais und Zuckerrüben, vor allem für die Saatbettbereitung, deutlich. Die Rübe hat bedingt durch die geringe Größe des Samens einen höheren Anspruch an Ablagegenauigkeit und damit an den für die Keimung wichtigen Bodenkontakt zur Sicherstellung des Kapillarwasseranschlusses. Letzterer wird durch ein feines, aber verschlammungsanfälliges Krümelgefüge sichergestellt und ist, anders als beim Mais, Bestandteil der üblichen Betriebsphilosophie (Abbildung 34).



Abbildung 34: Zuckerrüben- (links) und Maissaatbett nach Aussaat, Frühjahr 2022 (Bilder: AgU-menda GmbH)

Im Jahr 2022 durchgeführte Rauigkeitsmessungen mit einem Lidar-System (Lasermessungen) bildeten einen Rauigkeitsindex ab, welcher die visuellen Unterschiede numerisch verdeutlichte. Maiswies einen Index in Höhe von 18,4 und Zuckerrübe von 15,7 auf (Abbildung 35).

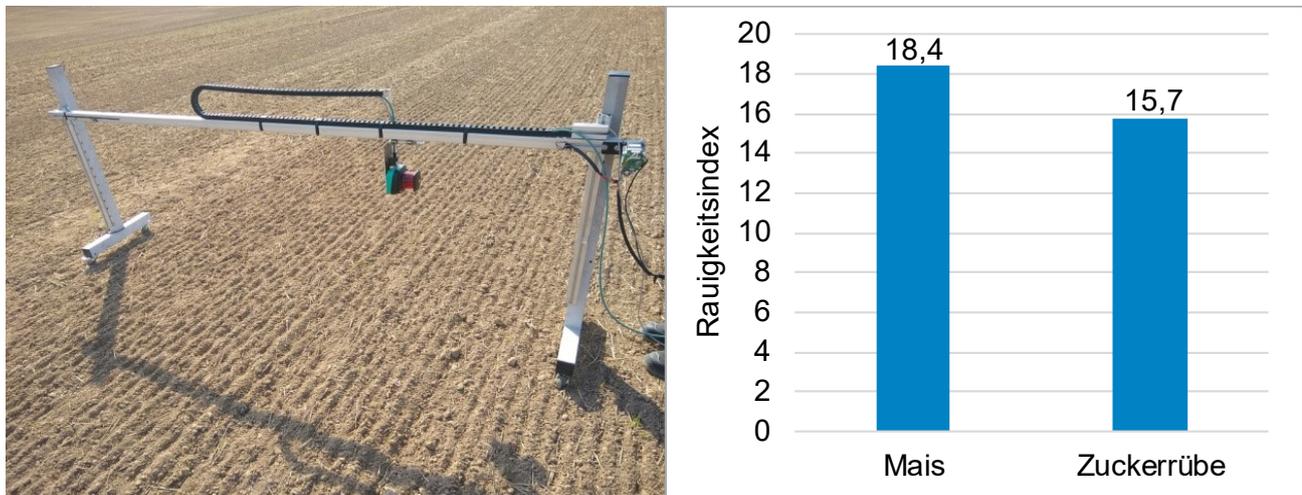


Abbildung 35: Lidar-System zur Bestimmung der Bodenrauigkeit (links) und Rauigkeitsindizes von Mais und Zuckerrübe im Frühjahr 2022 (n=2) (rechts) (Bild: AgUmenda GmbH)

3.2.3 Möglichkeiten der Erosionsminderung bei Mais und Zuckerrüben

Ansätze, um die Bodenbedeckung auf der Fläche bis zum Reihenschluss von Mais und Zuckerrüben hochzuhalten, liegen vor allem in einem minimalen Eingriff in den Boden. Die Direktsaat erscheint auf den ersten Blick als die konsequente Antwort auf die genannte Herausforderung. Aus Untersuchungen aus dem Jahr 2022 wird die höhere Bodenbedeckung in Höhe von 67 % bei Direktsaat, im Vergleich zu der üblichen Bedeckung in Höhe von ca. 10 % nach der Aussaat deutlich. Eine einfache Adaption zu einer höheren Umsetzungsrate der Direktsaat birgt, laut Ergebnissen aus selbst erhobenen Umfragen, eine begründete Skepsis in sich. Unkraut-, Schädlings- und ackerbauliches Management sind häufig genannte Herausforderungen, die mit der Direktsaat verstärkt werden. Zudem sind Direktsaatmaschinen oft nicht vorhanden.

Beim Vergleich des Bedeckungsgrades ausgangs des Winters mit dem Zeitpunkt nach der Saat, ergibt sich eine erhebliche, bereits beschriebene und mit Blick auf das Bodenabtragspotential risikobehaftete Minderung von 68 % auf 11 % im Frühjahr 2022 (Abbildung 36).

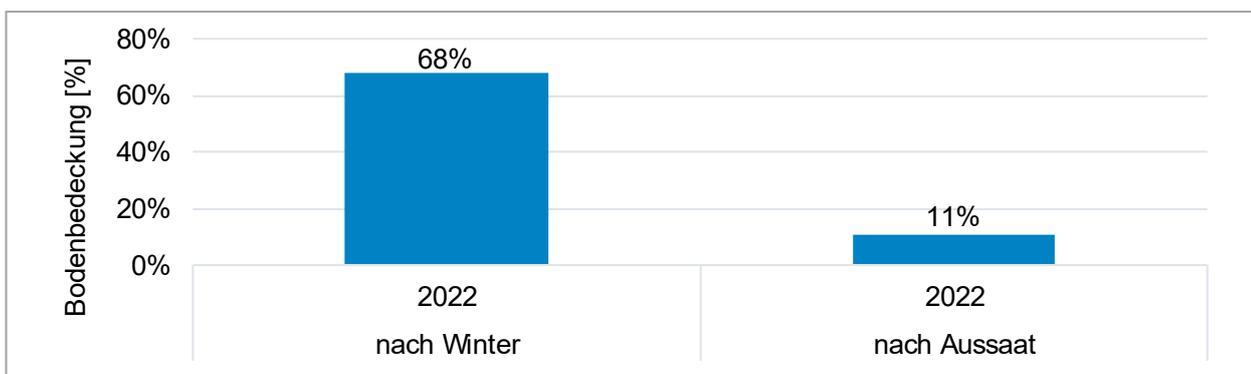


Abbildung 36: Bodenbedeckung nach Winter und nach der Aussaat von Mais bzw. Zuckerrüben in 2022 (n = 42)

Der Einfluss einer ZwFr auf diese Ergebnisse ist als gering einzuschätzen. Meist sind die ZwFr-Bestände über den Winter abgefroren, unterliegen dem mikrobiellen Abbau und werden von Regenwürmern als Nahrungsgrundlage genutzt und im Boden zersetzt. Im Rahmen eines Feldtages wurde die Wirkung einer, im Winter vorgenommenen, mechanischen Zerkleinerung der ZwFr analysiert. Mit einem Sichelmulcher wurde im Dezember 2020 der als ZwFr ausgesäte Senf- bzw. Phaceliabestand zerkleinert (Abbildung 37).



Abbildung 37: Im Dezember 2020 zerkleinerte ZwFr (links) im Vergleich zur unbearbeiteten Fläche (rechts); Aufnahme Anfang März 2021 (Bild: AgUmenda GmbH)

Der im Februar 2021 einsetzende Frost war entscheidend für die Zersetzung des organischen Materials. Durch die niedrigen Temperaturen wurde die Bodenbedeckung um 8 % mit bzw. 20 % ohne Mulcher reduziert (Abbildung 38).

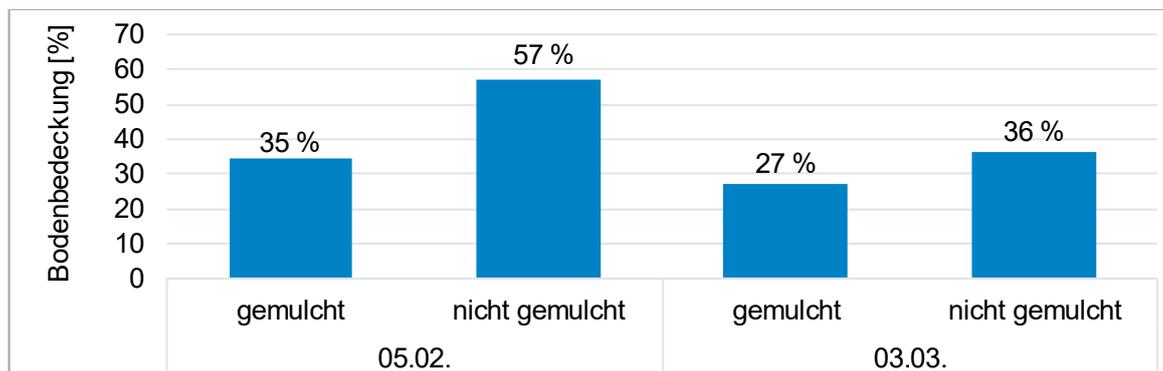


Abbildung 38: Wirkungen von Frost und Mulcher auf die Bodenbedeckung durch ZwFr, 2021 (n=4)

Vor der Saat der Zuckerrübe wurde Mitte März flach gegrubbert und Anfang April die Bodenaggregate mit einer Kreiselegge zerkleinert. In Kombination stellt diese Herangehensweise eine intensive, aber für die Rübe typische Strategie dar. Die beiden flachen Bearbeitungsgänge reduzierten den Bedeckungsgrad, unabhängig von der mechanischen Zerkleinerung des Aufwuchses der ZwFr um weitere 5-10 %. Als Erkenntnis bleibt den Boden so wenig wie möglich vor der Saat einem mechanischen Eingriff zu

unterziehen, um eine hohe schützende Bodenbedeckung zu erreichen. Zukünftige Beratungen sollten daher auch Geräteinvestitionen im Blick haben und neue Innovationen des Strip-Till-Verfahrens beachten.

In 2023 wurde in einem Begleitforschungsprojekt der sächsischen Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen das Strip-Till-Verfahren thematisiert. Im Herbst 2022 wurden dazu verschiedene ZwFr-Mischungen ausgesät, die bis zum Winter eine Biomasse von bis zu 170 dt/ha bildeten. Im Frühjahr wurden die Kulturen vor der Bodenbearbeitung mit und ohne Glyphosat behandelt. Im stehenden Bestand kam für die Bearbeitung eine Strip-Till-Sämaschine aus der Baureihe »Focus« des Landtechnikherstellers HORSCH zum Einsatz. Durch einen Strichabstand von 60 cm wird der Boden vor dem Säaggregat gelockert. Schneidscheiben sichern das Aufbrechen des Bodens an den Zinken und erhöhen – ebenso wie die einzeln aufgehängenen Metallwalzen – durch das leichte Wellenprofil die Feinkrümeligkeit. Packerräder zwischen den Grubberstielen und Säorganen sorgen für eine Einebnung und Rückverfestigung. Sternräumer werfen kurz vor der Ablage der Körner organisches Material aus dem Saatschlitz und sorgen, neben den nachfolgenden Andruckrollen, für einen guten Feldaufgang (Abbildung 39).



Abbildung 39: Strip-Till-Sämaschine aus der Baureihe Focus der Firma HORSCH (Bild: AgUmenda GmbH)

Sowohl in der abgetöteten als auch in der lebenden ZwFr hatten die jungen Maispflanzen gute Auflaufbedingungen (Abbildung 40). Durch die Herbizidstrategie war jedoch die Konkurrenzkraft der noch wachsenden ZwFr für die jungen Maispflanzen zu hoch. Hier wäre eine frühzeitige Applikation kurz nach der Saat angezeigt gewesen. Diese kam aber nicht zur Anwendung, weil im Rahmen der betriebsüblichen Glyphosatbehandlung der Beikrautdruck zur Saat stark reduziert wurde und so eine Herbizidanwendung im 2-3-Blattstadium umgesetzt wurde.



Abbildung 40: Saatbild in einem wachsenden (links) und abgetöteten (rechts) Ölrettich-Rauhafer-ZwFr-Bestand (Bilder: AgUmenda GmbH)

Für die Mischung »Viterra Zwischenfrucht Intensiv« der SAATEN-UNION GmbH, wurde ein Ertragsunterschied zwischen den Varianten mit und ohne Glyphosat von ca. 30 dt/ha Trockenmasse bei Mais festgestellt. Bei den im Herbst gedüngten ZwFr-Beständen zeigte sich eine weitere Abnahme der Trockenmasse von Mais in Höhe von 10-20 dt/ha. Zurückzuführen ist dies auf einen höheren Wasserverbrauch der über Winters weiter Biomasse produzierenden ZwFr-Bestände. Des Weiteren bedeuteten die dichteren ZwFr-Bestände, gerade in der glyphosatfreien Variante, eine Konkurrenz für die jungen Maispflanzen. Das Ertragsniveau mit 140-150 dt/ha ist regionaltypisch und lässt auf eine gute Funktionsweise der eingesetzten Strip-Till-Sämaschine schließen (Abbildung 41).

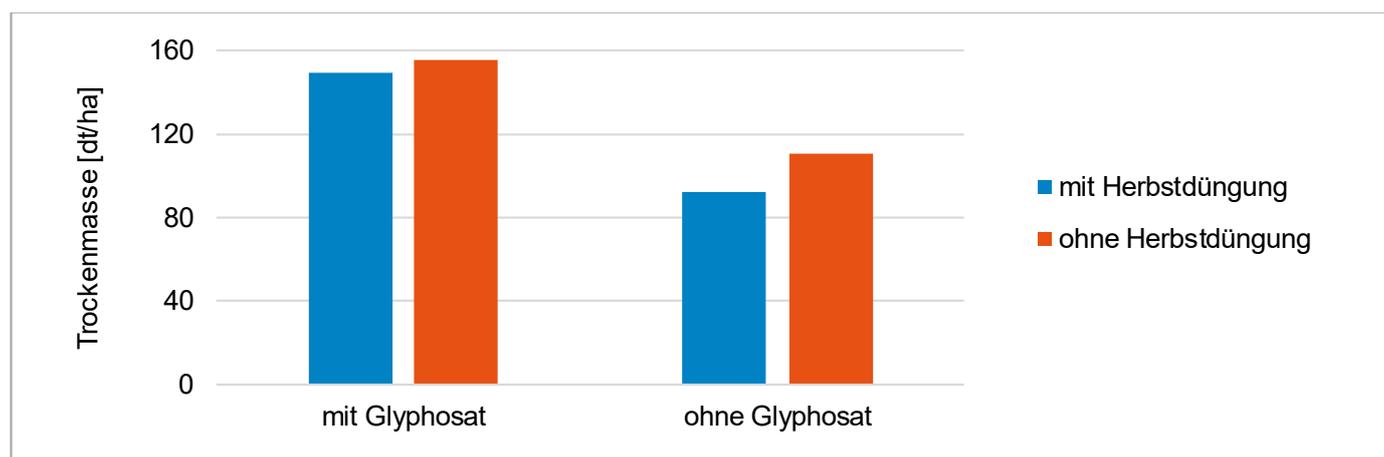


Abbildung 41: Trockenmasseerträge von Mais mit und ohne Glyphosat bzw. Herstdüngung (n=4)

Durch Bodenabtragsmessungen im Jahr 2023 konnten die erosionsmindernden Vorzüge des Strip-Till-Verfahrens gegenüber der konservierenden Bodenbearbeitung mit Grubber gezeigt werden. Ein Niederschlagsereignis in Höhe von $43 \text{ l}/(\text{m}^2 \times \text{h})$, mit einer 30-jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit in Sachsen, wurde mit einer Kleinberegnungsanlage simuliert. Die Abbildung 42 zeigt den oberflächlichen Wasserabfluss bei Anwendung des Strip-Till-Verfahrens im Vergleich zum Grubbereinsatz. In beiden Varianten konnte die Referenzniederschlagsmenge von $43 \text{ l}/(\text{m}^2 \times \text{h})$ nahezu komplett infiltrieren. Nach

einer Beregnungsdauer von 60 min flossen in der Variante Grubber 1,8 l/m² und in der Variante Strip-Till 0,8 l/m² oberflächlich ab. Mit zunehmender Beregnungsdauer stieg in beiden Varianten der Oberflächenabfluss exponentiell an. Nach einer Beregnungsdauer von 120 min und einer Niederschlagsmenge von insgesamt 88 l/m² flossen in der Variante Strip-Till 7 l/m² und in der Variante Grubber ca. 23 l/m² oberflächlich ab.

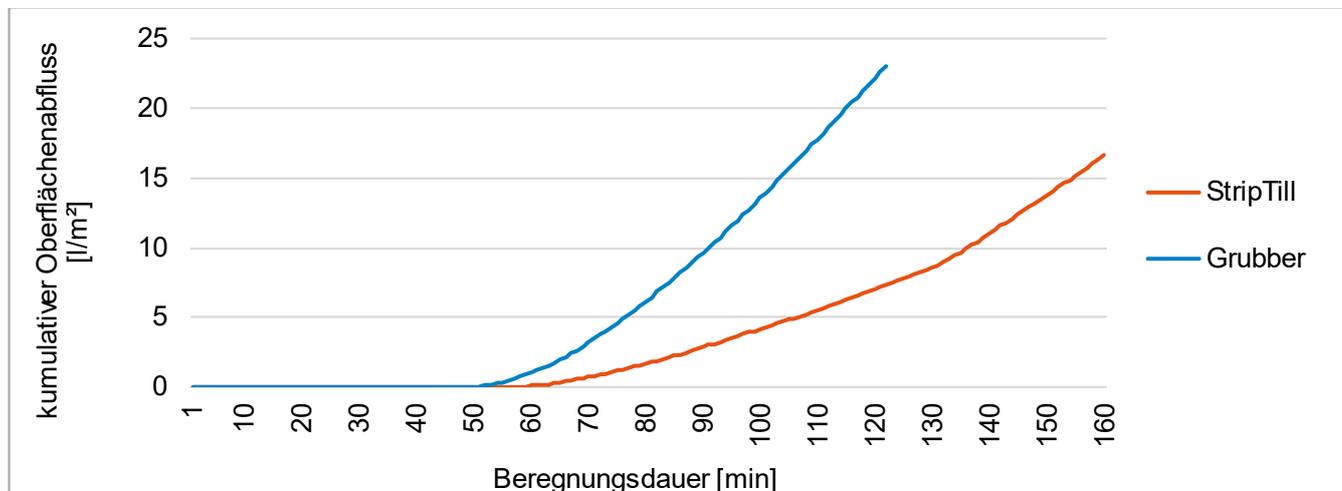


Abbildung 42: Kumulativer Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von der Beregnungsdauer

Auch der Bodenabtrag war in der Strip-Till-Variante deutlich geringer als in der klassischen Mulchsaatvariante. So konnte der Bodenabtrag bei Anwendung des Strip-Till-Verfahrens um den Faktor 7 reduziert werden (Abbildung 43).

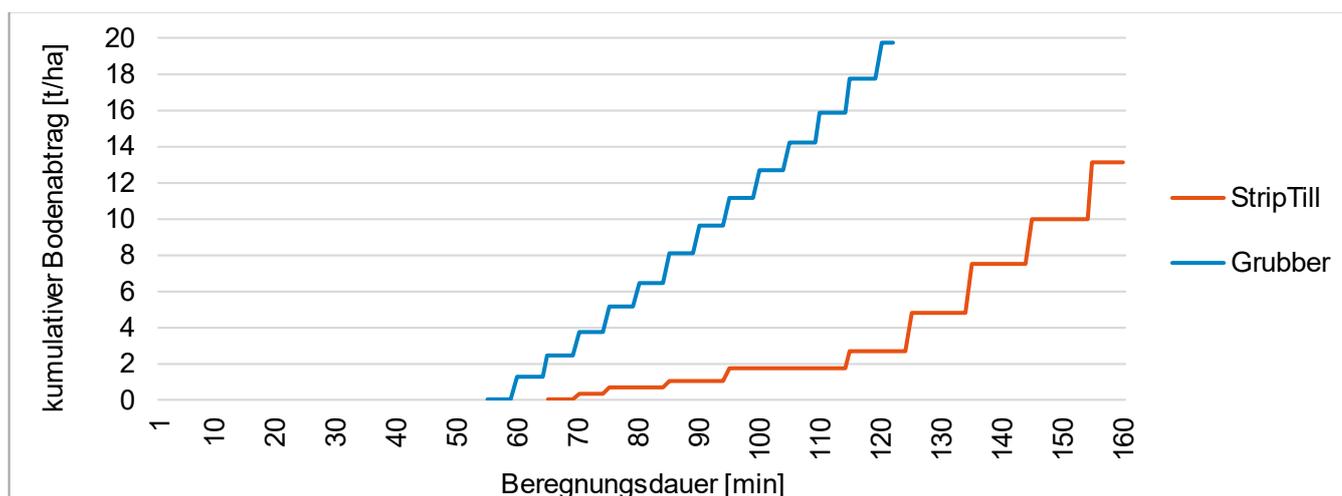


Abbildung 43: Kumulativer Bodenabtrag während der 1. Beregnung in Abhängigkeit der Beregnungsdauer

Dies bestätigte sich zusätzlich während der zweiten Beregnung, dem sogenannten Überstau. Zu beachten ist, dass dieser in der Variante Grubber bereits nach einer Niederschlagsmenge von 88 l/m² durchgeführt wurde (120 min), in der Variante Strip-Till hingegen nach einer Niederschlagsmenge von 116 l/m² (160 min). In der Variante Strip-Till konnte eine zweifach geringere Bodenerosion, im Vergleich

zur Grubbervariante, durch die höhere Bodenbedeckung und bessere Bodenstruktur festgestellt werden (Abbildung 44).

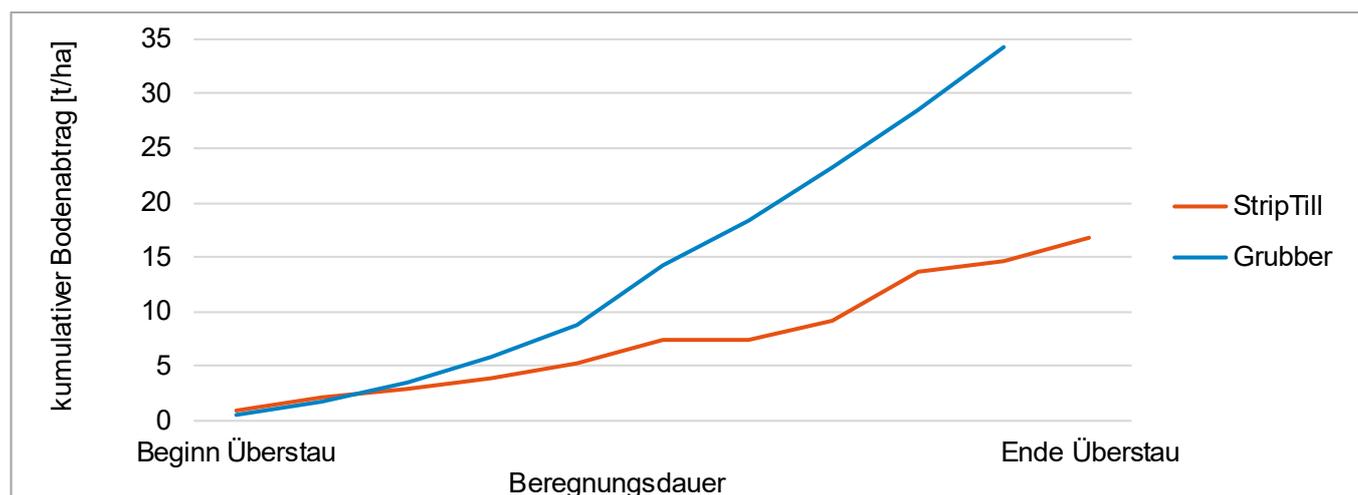


Abbildung 44: Kumulativer Bodenabtrag während der 2. Beregnung in Abhängigkeit der Beregnungsdauer

Betrachtet man die Bodenerosion und die Infiltrationsleistung des Bodens, zeigt sich die Überlegenheit der Streifenbearbeitung im Vergleich zur herkömmlichen ganzflächigen Mulchsaat. Gerade mit öfter auftretenden Starkniederschlagsereignissen und Dürreperioden, rückt die herausragende Bedeutung einer hohen Infiltrationsleistung des Bodens zunehmend in den Fokus.

Ein mögliches Glyphosatverbot oder weitere Anwendungseinschränkungen dieses Wirkstoffes haben, wie im oben genannten Begleitforschungsprojekt gezeigt, Auswirkungen auf die Beikrautbesatzkontrolle. Chemische und mechanische Verfahren können zur alternativen Regulation, allerdings bei meist höherer Intensität und höherem Aufwand, angewendet werden. Jedoch führt jeder Eingriff in den Boden zu einem höheren Erosionspotential. Eine Demonstration zum glyphosatreien Anbau von Zuckerrüben im Frühjahr 2019 zeigte die Herausforderung im Management von Gräsern und Ausfallgetreide bei einer angebauten Senf-ZwFr. Technische Verfügbarkeit und eine späte Befahrbarkeit ließen eine Bearbeitung erst Anfang April zu. Über den Winter bis ins Frühjahr hinein, konnte der aufgelaufene Weizen in den Leitspuren der Vorernte mehrere Triebe und ein adäquates Wurzelsystem bilden. Der feuchte Lehmboden verhinderte die Trennung von Boden und Wurzeln während der mechanischen Bearbeitung. Durch die hohe Wasserhaltekapazität des tonigen Schluffs (Ut3), wuchsen die Weizenpflanzen mit dem bodenbehafteten Wurzelballen weiter (Abbildung 45). Dies führte zu einer schlechteren Arbeitsweise der Säorgane zur Rübenaussaat. Zwar sorgte der anschließende Regen für einen hohen Feldaufgang der Rübe, verdeutlichte aber auch die starke Abhängigkeit einer unpräzisen Ablagegenauigkeit von der Witterung. Zwischen den Leitspuren wurde die Bodenbedeckung durch die einmalige, flache Bearbeitung bereits massiv reduziert. Dies verdeutlicht den Anspruch eines minimalen Eingriffs in den Boden für einen gezielten Erosionsschutz.



Abbildung 45: Bestockter Weizen vor (links) und nach (rechts) einmaliger Bodenbearbeitung am 08.04.2019 (Bilder: AgUmenda GmbH)

Durch den Verzicht auf Glyphosat und der frühen Andüngung mit Kalkammonsalpeter (KAS) am 30.03.2019, wurde die Entwicklung der Gräser gefördert. Im Laufe des Anbaujahres musste der Ackerfuchsschwanz mehrmals chemisch bekämpft werden (Abbildung 46). Neben der hohen Ökosystembelastung entstanden durch die Gräserherbizide zusätzliche Kosten in Höhe von 60 €/ha.



Abbildung 46: Die glyphosatfreie Variante mit Ackerfuchsschwanz am 06.06.2019 (Bild: AgUmenda GmbH)

Als Alternative zu Herbiziden kann im Zuckerrübenanbau eine Hacke mit Bandspritzung Anwendung finden. Dieses Verfahren wurde im Frühjahr 2020 in einer Demonstration getestet und die Erosionsanfälligkeit mit einer Bodenabtragsmessung bewertet. Zum Erntezeitpunkt konnten keine Ertragsunterschiede bei einem sehr hohen Ertragsniveau von 120 t/ha gefunden werden. Eindeutig erhöhte sich, durch die flache Bearbeitung mit der Hacke, die Erosionsanfälligkeit. Der ermittelte Bodenabtrag bei Überstau und einer Hanglänge von 20 m betrug 68 t/ha bei der Variante mit und 38 t/ha bei der Variante ohne Hacke (Tabelle 9). Nachgebildet wurde ein selten starkes Niederschlagsereignis mit einer 100-jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit in Sachsen, noch dazu kurz nach der Aussaat. Ein späterer Eingriff in den Boden ist zwar aus pflanzenphysiologischer Sicht durch eine bessere Bodenbelüftung und einer

damit einhergehenden Förderung des Wurzelwachstums gut, erhöht aber massiv den potentiellen Bodenabtrag bei einem Erosionsereignis. Unter Anbetracht der gewonnenen Ergebnisse kann dieses Vorgehen nicht empfohlen werden.

Tabelle 9: Ergebnisse einer Bodenabtragsmessung in 2020

Verfahren	Messbedingungen	Lagerungsdichte [kg/cm ³]	Bodenabtrag [t/ha]	P-Verlust [kg/ha]	N-Verlust [kg/ha]	C _{org} -Verlust [kg/ha]
Mulchsaat	am Beginn des Hanges; nach 60 min Beregnung	1,2	0,5	0,3	1,0	8,6
Hackeinsatz	am Beginn des Hanges; nach 60 min Beregnung	1,4	1,7	1,2	3,7	31,2
Mulchsaat	auf 20 m Hanglänge; nach 110 min Beregnung (Überstau)	1,2	38	27	83	687
Hackeinsatz	auf 20 m Hanglänge; nach 110 min Beregnung (Überstau)	1,4	68	49	149	1242

3.2.4 Bodenbearbeitungsverfahren zu Winterraps

Analog zu Mais und Rüben birgt der Winterraps durch den Aussaatzeitpunkt, den Anspruch an die Feinkrümeligkeit des Saatbettes und den hohen Anbauumfang ein hohes Erosionspotential. In Beratungen und Demonstrationsanlagen wurde auf die Bearbeitungsintensität eingegangen und deren Satus quo erfasst. Gängig im Rapsanbau sind, in Abhängigkeit von der organischen Düngung, zwei bis drei Bodenbearbeitungsgänge nach der Getreideernte. Je nach Masse an Ernterückständen sowie Qualität der Zerkleinerung und Verteilung beim Druschprozess, wird die Bodenbedeckung zur Saat stark reduziert. Meist werden Mulchsaatdrillkombinationen mit einem integrierten Scheibenfeld genutzt, welche das Stroh weiter in den Boden mischen. Intensive Mulchsaatverfahren waren typisch und wurden von fast allen Betrieben praktiziert. Im Durchschnitt aller Untersuchungsflächen in 2023 betrug die Bodenbedeckung gerade einmal ca. 10 %. Nur vereinzelt zur Anwendung kommende extensivere Verfahren kamen auf 30-60 % Bodenbedeckung. In den Demonstrationen wurde nach Möglichkeiten für einen erosionsmindernden Rapsanbau gesucht, ohne auf die notwendige tiefe Lockerung für eine gute Pfahlwurzelentwicklung zu verzichten.

3.2.5 Möglichkeiten der Erosionsminderung bei Winterraps

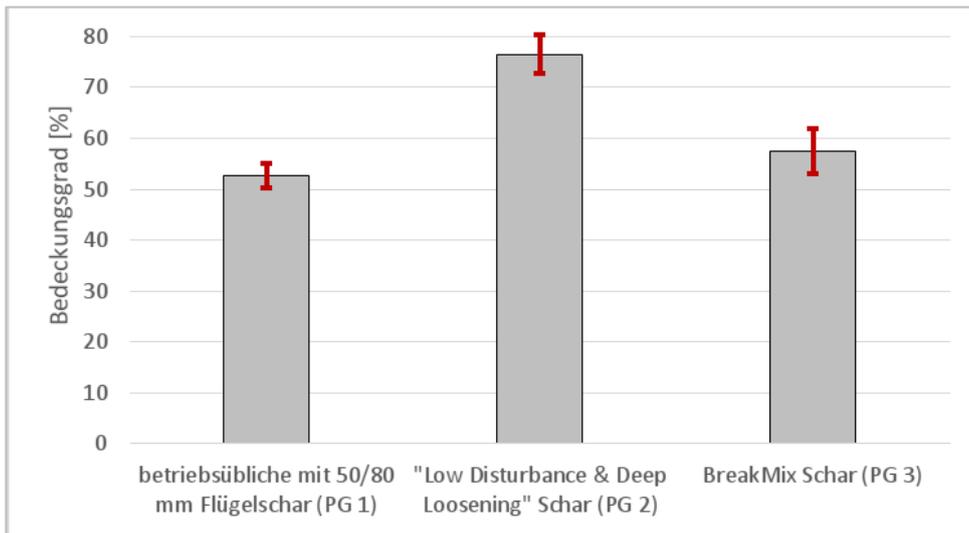
Schar- und Grubberstielformen, Leitbleche, Eingriffswinkel, Strichabstand und Einebnungselemente sowie Walzen stellen die wesentlichen Einflussfaktoren auf das Ergebnis bei einem Bodenbearbeitungsgerät dar. Neu konzipierte Grubberstiele bieten bei gleichem Geräteaufbau die Möglichkeit die Bodenbedeckung zu steuern. Das Bodenstrohgemisch entsteht durch das Aufgleiten des Bodens am Schar

bzw. Stiel oder Scharkörper. Durch ein aufgeschweißtes gebogenes Flacheisen (Low-Disturbance Schar) und eine relativ gerade Leitblechform wird ein Aufgleiten des Bodens und damit eine Mischung mit dem Stroh reduziert. Andererseits bietet eine auf das Schar aufgepanzerte Spitze (BreakMix Schar) die Möglichkeit den Boden tiefer zu lockern, ohne ihn dabei aufsteigen zu lassen. In der Untersuchung 2020 wurde zusätzlich ein handelsübliches Schmalschar analysiert (Abbildung 47).



Abbildung 47: Low-Disturbance Schar mit DeepLoosening Spitze (rechts) und Schmalschar (mittig) für die Bodenbearbeitung zu Raps in der Demonstration; Gänsefußschar (links) (Bild: AgUmenda GmbH)

Das Low-Disturbance Schar führte zu einer Bodenbedeckung in Höhe von 75 %. Das BreakMix Schar als auch das betriebsübliche Schmalschar mit Flügelscharen führten zu einer Bodenbedeckung von 55 % (Abbildung 48). Durch die DeepLoosening Spitzen konnte der Boden an jedem zweiten Grubberstiel in einer Tiefe auf 35-40 cm aufgebrochen werden. Ein Ertragseffekt wurde hiermit aber nicht erzielt. Gezeigt werden konnte, dass die Scharform und deren physikalische Wirkung auf den Bodenstrom die Bodenbedeckung wesentlich beeinflusst.



Legende: PG = Prüfglied

Abbildung 48: Bodenbedeckungsgrad nach der Bearbeitung mit verschiedenen Scharformen (n=4)

Weiterhin wurde die Bodenbearbeitungsintensität zu Winterraps untersucht. Nach Sommergerste wurde einerseits die Stoppelbearbeitung als auch die Tiefe der Grundbodenbearbeitung betrachtet. Durch die geringere Eingriffsintensität in der extensiven Variante (ohne Stoppelbearbeitung; 15 cm Grundbodenbearbeitung) blieben nach der Saat mehr Ernterückstände auf der Bodenoberfläche zurück, als in der intensiveren Variante (mit Stoppelbearbeitung; 25 cm Grundbodenbearbeitung) (Abbildung 49). Eindrücklich bildete die extensivere Herangehensweise eine gute Handlungsoption für einen effektiven Erosionsschutz.

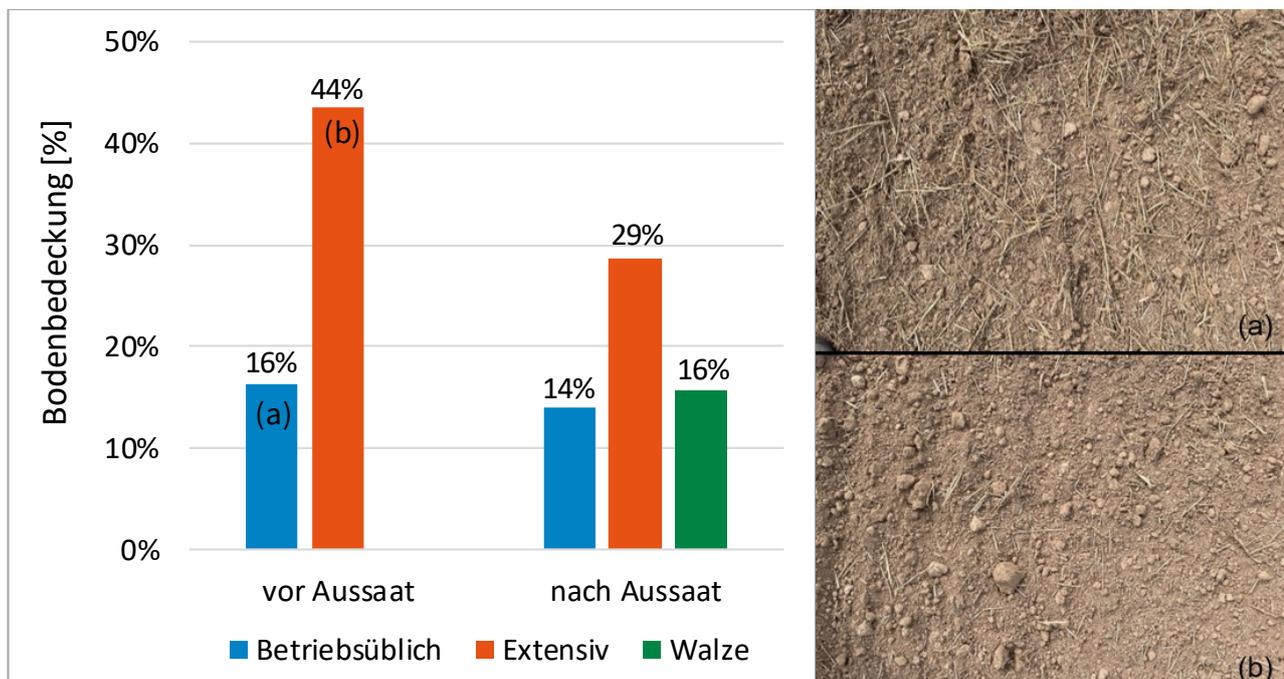


Abbildung 49: Bodenbedeckung vor und nach der Rapsaussaat in Abhängigkeit der Bearbeitungsintensität (Bilder (a) und (b)) in 2022 (n=4) (Bild: AgUmenda GmbH)

Bei der Bodenbedeckungsbonitur wurden hohe Mulchauflagen durch eine streifenweise Bodenlockerung mit einem breiten Strichabstand (> 30 cm) vorgefunden. Geräte von Landtechnikherstellern wie Mzuri, HORSCH und Claydon bieten die Möglichkeit dieses Verfahren praxiserprobt anzuwenden. Technische Lösungen bedürfen aber hoher Investitionskosten und benötigen daher auch eine entsprechende Auslastung der Bearbeitungsgeräte. Das Bearbeitungsergebnis überzeugt mit hohen Feldaufgängen und einer guten Ablage der Sämereien (Abbildung 50). Zudem ist oft noch die Möglichkeit zur UFD gegeben.



Abbildung 50: Strip-Till-Saat (links) und Bearbeitungsergebnis (rechts) (Bilder: AgUmenda GmbH)

3.2.6 Allgemeine Maßnahmen zum Erosionsschutz auf Ackerflächen

3.2.6.1 Begrünte Fahrgassen

Eigene Beobachtungen zeigen, dass Bodenerosion selbst unter einem geschlossenen Pflanzenbestand in den unbewachsenen Fahrgassen auftreten kann. In Abhängigkeit der Hanglänge können sich so Erosionsrinnen bilden, die eine Tiefe von 10 cm überschreiten (Abbildung 51). Begünstigt wird die Bodenerosion durch Überfahrungsverdichtungen und der damit zusammenhängenden Störung des Bodengefüges sowie der Bodenaggregate. In einer Demonstration zur Begrünung von Leitspuren wurde daher untersucht, ob durchgängig oder mit Intervallschaltung begrünte Fahrgassen ein geeignetes Mittel sind, um Bodenerosion zu reduzieren.



Abbildung 51: Fahrspur mit Erosionsrinne von 13 cm Tiefe am 22.09.2021 (Bild: AgUmenda GmbH)

In den begrünten Bereichen der Fahrgasse konnten im Vergleich zur komplett unbewachsenen Fahrgasse keine Bodenbewegungen dokumentiert werden. In den unbewachsenen Zwischenbereichen der Fahrgassen kam es aber zu einer Bodenbewegung mit Sedimentation im bewachsenen Abschnitt (Abbildung 52). Einem Bodenabtrag von der Fläche konnte dadurch vorgebeugt werden.

Der stärkste Bodenabfluss wurde in der betriebsüblichen Variante ohne Fahrgassenbegrünung festgestellt. Im Vergleich zum bewachsenen Bereich war das Relief der Fahrspuren tiefer ausgespült und trug somit zum Bodenabtrag bei. Deutlich zu sehen war die Bewegung des Bodens, wenn dieser nicht bedeckt ist (Abbildung 52).



Abbildung 52: Mit Intervallschaltung begrünte Fahrgasse (links), fehlende Bodenbewegung in begrüntem (Mitte) und vorhandene Bodenbewegung in unbegrüntem (rechts) Fahrgassenabschnitt (Bild: AgUmenda GmbH)

Zusätzlich konnte ein Einfluss der rotierenden Fahrgassenmarkierungen zur Saat, für die Kennzeichnung von Herbizidbehandlungen im Voraufbau, festgestellt werden. Die Spurreißer reißen infolge drehender Bewegungen Boden aus der Fahrgassenmitte heraus. Dies führt bereits vor der ersten Überfah-

rung zu einer anfänglichen Rillenbildung. In Kombination mit der Überfahung und den damit einhergehenden Bodenverdichtungseffekten, wurde ein verstärkter Bodenabtrag in der Demonstration dokumentiert (Abbildung 53).



Abbildung 53: Rillenbildung durch Überfahung in Kombination mit rotierender Fahrgassenmarkierung (Bild: AgUmenda GmbH)

Allein aus den ersten Analysen wird deutlich, dass neben der Spurbreite und Wahl der Reifen, auch die Spurreißersysteme Einfluss auf das Erosionspotential haben. Die Bodenerosion in den Fahrgassen stellt somit eine Form der verdeckten, aber permanent stattfindenden Bodenerosion dar. Mit dem Wasserabfluss in den Leitspuren findet eine Sedimentverlagerung in hangabwärts liegende Bereiche statt. In der Demonstration konnte praxisnah die Wirkung einer Fahrgassenbegrünung untersucht werden. Folgende Erkenntnisse sind wichtig:

- Die Aussaat und Begrünung der Fahrgassen mit Getreide bietet eine einfache und praktikable Möglichkeit die Erosion in diesen Bereichen zu begrenzen.
- Am effektivsten, mit Blick auf die Reduzierung des Bodenabtrages, zeigte sich die permanente Begrünung der Leitspur und deren spätere Überfahung mittels eines Real Time Kinematic (RTK) gesteuerten Lenksystems.
- Beeinträchtigungen in der Pflanzengesundheit, der Erntegutqualität sowie der Druscheignung konnten für den untersuchten Winterweizen nicht festgestellt werden.
- Zu Winterroggen kann das Verfahren nicht uneingeschränkt empfohlen werden, da eine überrollungsbedingte späte Pflanzenentwicklung die Gefahr von Mutterkornausbildung erhöht.

- Landtechnikhersteller wie AMAZONE und HORSCH bieten die terminalgesteuerte, individuelle und automatisierte Fahrgassenintervallschaltung bereits an.
- Rotierende Fahrspurmarkierungen sollten nur dann eingesetzt werden, wenn die dadurch entstehenden Rillen wirklich für die Herbizidbehandlung im Voraufbau benötigt werden. Falls Fahrspurmarkierungen genutzt werden, sollten diese nur so wenig wie nötig den Boden zur Kennzeichnung der Leitspuren aufreißen.

3.2.6.2 Begrünung von Abflussbahnen

Immer wieder kommt es durch wild abfließendes Wasser in tiefen Erosionsrinnen zu massiven Erosionsschäden auf den Feldern und Sedimentablagerungen in angrenzenden Ortschaften. So traf es im Jahr 2022 die Gemeinde Gersdorf, deren Schwimmbad noch im Jahr 2023 durch defekte Filtersysteme und massive Schlammablagerung nicht nutzbar war. Historische Karten belegen, dass diese Rinnen vor der Gründung der Landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften (LPG) als Grünland genutzt wurden und kleine Teiche installiert waren. Diese Becken fungierten als Schlammfang und konnten nach Erosionsereignissen geräumt werden. Fruchtbarer Boden ging so nicht verloren (Abbildung 54).

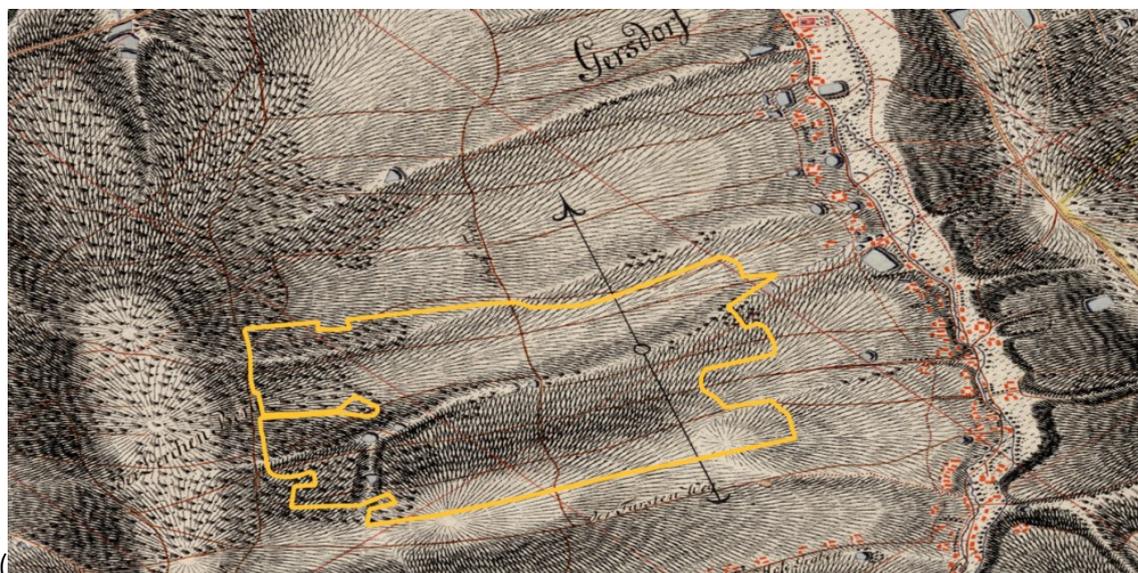


Abbildung 54: Historische Karte (um 1800) des Einzugsgebietes, welches für das Erosionsereignis in Gersdorf im Jahr 2022 verantwortlich war (Quelle: GeoSN, dl-de/by-2-0)

Heutige bauliche Eingriffe zum Wasserrückhalt und Erosionsschutz in solchen Abflussrinnen, werden im Rahmen der Flurneuordnung geplant und beispielsweise in Form von bewirtschaftungsintegrierten Verwallungen wie in Pröda umgesetzt. Dabei leiten Drainagen das Niederschlagswasser unterirdisch ab. Das in den Sammelbecken aufgefangene Sediment kann in langjährigen Zyklen ausgeschoben werden, da die Kapazitäten der Verwallungen ausreichend groß dimensioniert sind (Abbildung 55).

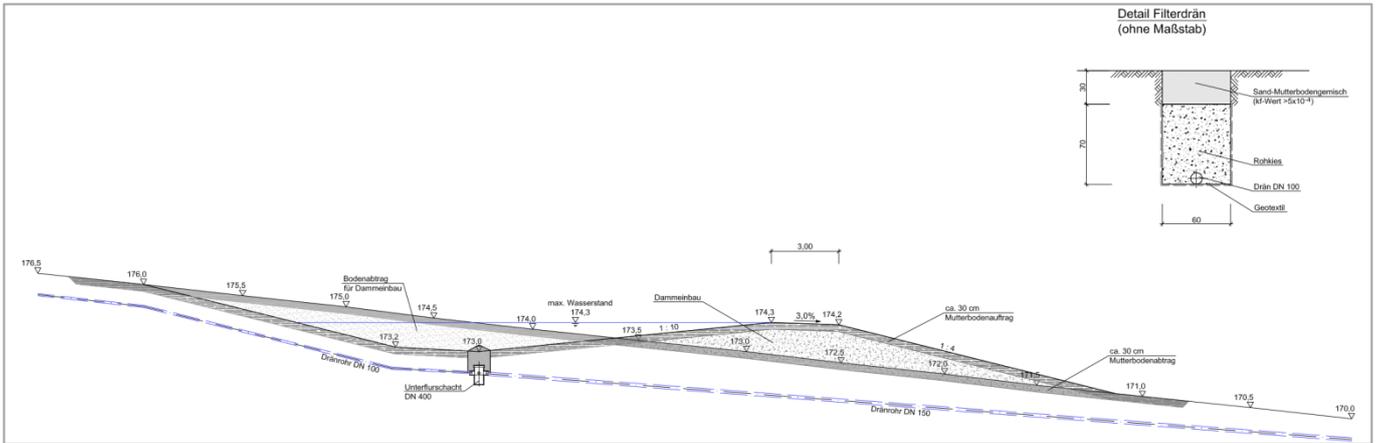


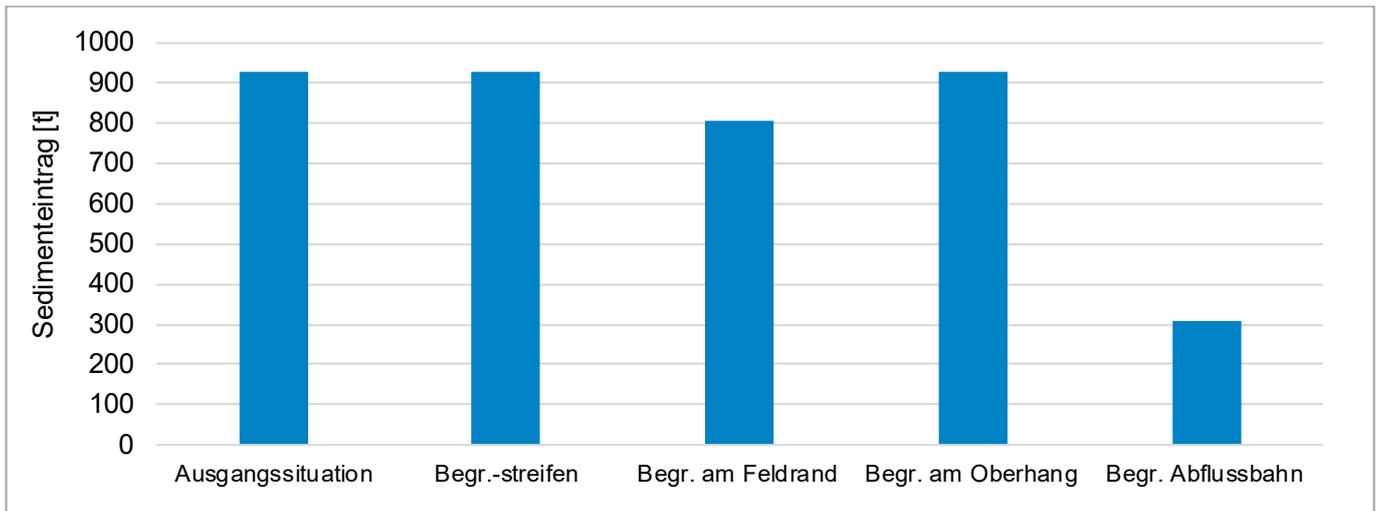
Abbildung 55: Aufbau der Verwallungsanlagen in Pröda im Landkreis Meißen (Bild: LfULG)

Eine weitere Möglichkeit, um die Abflussenergie des wild abfließenden Wassers zu reduzieren, ist die Begrünung der Hangrinnen. In Zöthain wurde in 2022 eine integrierte Hafersaat im Zuckerrübenanbau umgesetzt (Abbildung 56).



Abbildung 56: Mit Hafer begrünzte Hangrinne in Zöthain, 2022 (Bild: AgUmenda GmbH)

Durch Nutzung von Precision Farming Technologien konnte, nach Einmessen der ausgesäten Haferfläche, die Rübensaat über Section Control genau an der Grenze ausgeschaltet werden. Gleiches war auch für den Pflanzenschutz möglich. Die Ernte musste separat durchgeführt werden. Durch den entgangenen Rübenanbau entstand dem Betrieb ein Aufwand in Höhe von 2000 €/ha. Im Vergleich zur betriebsüblichen Bearbeitung zeigte die Begrünung der Abflussbahn eine Verringerung des Sedimentabtrages in Höhe von 600 t (Abbildung 57).



Legende: Begr. = Begrünung

Abbildung 57: E3D-Simulationsergebnisse zum Sedimentabtrag in Zöthain, 2022

3.2.6.3 Modelle helfen bei der effektiven Wirkungsabschätzung von Erosionsschutzmaßnahmen

Mit dem Simulationsprogramm E3D, welches mit Daten aus Bodenabtragsmessungen parametrisiert wird, ist es möglich verschiedene Maßnahmen des Erosionsschutzes zu berechnen und zu bewerten. Neben Begrünungen können Bearbeitungsverfahren, Verwallungen oder Schlagteilungen in die Überlegungen einbezogen werden.

Aus Abbildung 58 sind modellierte Abtragsszenarien für verschiedene erosionsreduzierende Maßnahmen ersichtlich. Ausgehend von einem Niederschlagsereignis mit einer 10- bzw. 50-jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit sollten jene ackerbaulichen Ansätze gefunden werden, die produktionsintegriert eine Verringerung der Bodenerosion ermöglichen. Nicht dargestellt ist die flächenhafte Umsetzung der Streifenbearbeitung. Diese wurde jedoch in die Überlegungen für die Bodenbearbeitung zu Sommerungen einbezogen. Die restlichen Maßnahmen konzentrierten sich auf die Verringerung des Bodenabtrages in den Hauptsedimentationslinien durch Anlage von begrünten Abflussbahnen oder durch Installation von zwei Verwallungen.

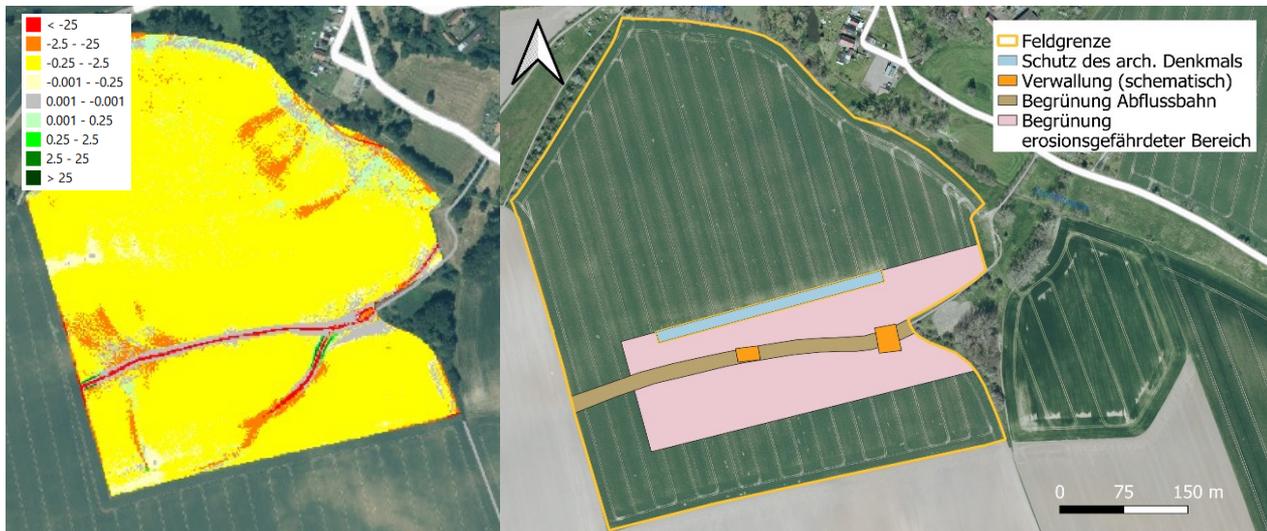


Abbildung 58: E3D-Simulationsergebnisse zum Bodenabtrag (kg/m^2) bei einem 10-jährlichen Niederschlagsereignis (links) und modellierte Erosionsschutzmaßnahmen (rechts) (Luftbild: GeoSN, dl-de/by-2-0)

Aufgrund der extremen Hangneigung führte bereits ein simuliertes 10-jährliches Niederschlagsereignis zur Überflutung der oberen Verwallung. Folglich ist mit einer Schädigung des Bauwerkes im Kronenbereich zu rechnen und eine dauerhafte Funktion der Verwallung nicht gewährleistet. Größer dimensionierte Anlagen wären im bestehenden Ackerbausystem durch die Dammhöhe und die daraus folgende Dammneigung schwer zu integrieren. Geräte könnten von der Krone herunterrutschen und umkippen. Auf eine Darstellung der Ergebnisse der Verwallung wurde daher verzichtet. Die größte Reduzierung des Bodenabtrages wurde durch die begrünte Hangrinne erzielt (Abbildung 59). Einen flächenhaften Bodenschutz könnte am ehesten durch das Strip-Till-Verfahren gewährleistet werden.

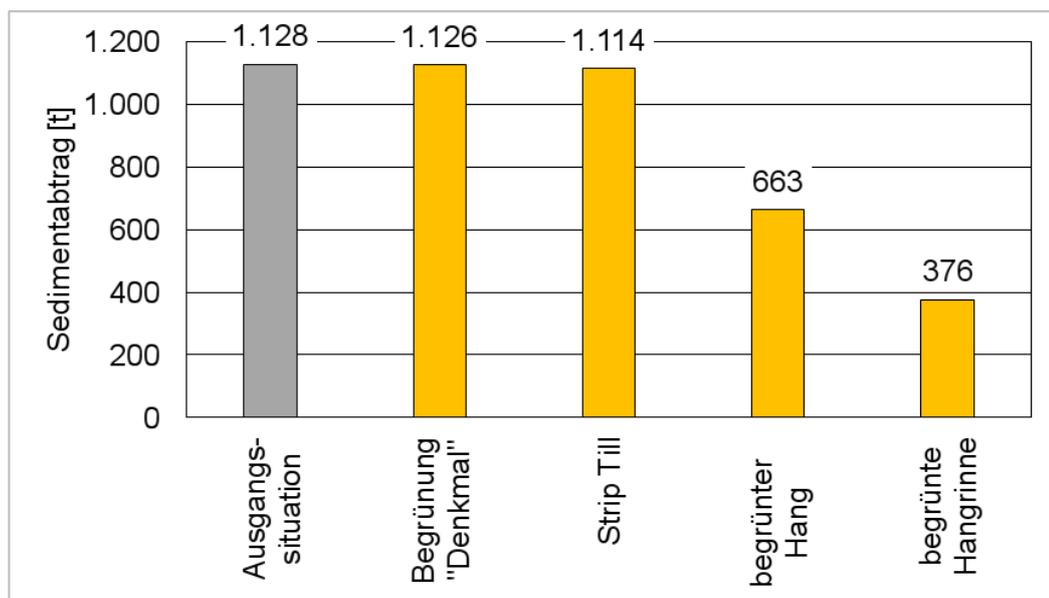


Abbildung 59: Erosionsschutzwirkung der simulierten Maßnahmen

3.2.7 Zwischenfazit zu erosionsmindernden Maßnahmen

Die Erosion so gering wie möglich zu halten ist das Ziel, um die essentielle Produktionsgrundlage Boden über Generationen hinweg zu sichern und den Zielen der WRRL durch einen verminderten P-Eintrag gerecht zu werden. Maßnahmen und Methoden leiten sich aus den physikalischen und in der ABAG beschriebenen Gesetzmäßigkeiten ab. Eine betriebsspezifische Strategie sollte aus den naturräumlichen Gegebenheiten und produktionstechnischen Möglichkeiten erarbeitet werden.

Pflanzenbauliche Ansätze zur Erosionsminderung

- Ein hoher Bodenbedeckungsgrad reduziert die Energie aufprallender Regentropfen, in dem diese durch das organische Material abgebremst werden. Der Aufprallimpuls und die damit verbundenen Kräfte können ihre zerstörerische Wirkung auf die Bodenaggregate weniger stark ausüben. Zur Verschlämmung neigende Schluffpartikel des Lösslehms im sächsischen Hügelland werden so geschützt. Zudem bleiben Mittel- und Makroporen erhalten und ermöglichen eine höhere Infiltration des Niederschlagswassers. Parallel bremst das Mulchmaterial die Abflussgeschwindigkeit und führt zu einer besseren Ableitung des Wassers in den Boden.
- Ackerbaulich kann die Eingriffsintensität in den Boden durch eine Verringerung der Bearbeitungsgänge, deren Tiefe sowie durch minimal invasiv arbeitende Geräte reduziert werden. Demonstrationen zeigten einen deutlichen Effekt der Bodenbearbeitungsintensität auf den Bodenbedeckungsgrad. Nicht winterharte ZwFr, welche hauptsächlich für die Winterbegrünung genutzt werden, sterben bei Frostereignissen ab und sind den biologischen Abbauprozessen des Edaphons ausgesetzt. Die brüchigen ZwFr-Auflagen können bereits durch einen Bearbeitungsgang stark reduziert werden. Gleiches gilt für Strohmulchauflagen vor der Rapsaussaat.
- Der mehrmalige Eingriff in den Boden stört das Porengefüge und die Aktivität der Regenwürmer, welche für das stabile und drainierende Röhrensystem verantwortlich sind. Zusätzlich werden durch fast jeden mechanischen Eingriff Bodenaggregate zerkleinert und die Rauigkeit reduziert. Eine Reduktion der Bearbeitungsgänge bietet somit einen gezielten Ansatz zur Verringerung des Erosionsrisikos.
- Leitbleche und Scharformen haben einen Einfluss auf das Aufgleiten des Boden-Mulch-Gemisches und die Einmischung von Mulch in den Boden. Schmale Schare und wenig mischende Leitblechformen führten in den Untersuchungen zu höheren Bodenbedeckungsgraden.

- Interessant sind die Gerätekonzepte der Firmen Mzuri, Claydon und HORSCH. Schmale Schare ermöglichen einen guten Bodenfluss und ein meist adäquates Saatbett für Mais und Raps bei Strichabständen zwischen 30-60 cm. Schneidscheiben und Einebnungselemente sorgen für einen guten Bodenschluss und optimale Keimbedingungen bei gleichzeitiger Konservierung der Bodenbedeckung.
- Größere, bei hohen Bodenfeuchten aus dem Boden gegrubberte Bodenaggregate stellen zur Saat eine Herausforderung dar. Eine einfache Lösung stellt oft der Einsatz einer intensiv arbeitenden Kreiselegge dar, welche verschlammungsanfällige Feinerde hinterlässt.
- Eine Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität steht oft im Widerspruch zu einer Reduktion des Einsatzes von chemisch-synthetischen PSM. Entsprechend sollten zukünftig weitere Anstrengungen auf diesem Themenfeld unternommen werden, um der Landwirtschaft Lösungsansätze anbieten zu können.

Produktionsintegrierte und kulturunabhängige Erosionsschutzmaßnahmen

- Die begrünte Hangrinne bietet in den Hauptsedimentationslinien einen effektiven Erosionsschutz. Hafer ist phytosanitär neutral und lässt sich gut in die Fruchtfolge integrieren. Durch eine frühe Aussaat sorgen die Begrünungen für eine gezielte Bodenbedeckung zu Zeiten potentieller und risikoreicher Starkniederschläge.
- Mittels automatisierter Stotterschaltung kann eine begrünte Fahrgasse sehr leicht im Betriebsablauf implementiert werden. Der Bewuchs in den Leitspuren reduziert den Bodenabtrag in diesen Bereichen.
- Durch Schlagteilung verringert sich die Hanglänge. Verschiedene Kulturarten führen zu differenzierten Bodenbedeckungen und -strukturen. Durch kürzere Abflussbahnen wird dem wild abfließenden Wasser die Kraft und damit auch das Erosionspotential genommen.
- Um die Wirkung verschiedener erosionsreduzierender Maßnahmen beurteilen zu können, ist es für die Betriebsplanung hilfreich verschiedene Szenarien zu analysieren. Für die Erosionsschutzberatung ist die Modellierung mit E3D ein geeignetes Hilfsmittel, um Landwirtschaftsbetriebe von der Umsetzung standortspezifischer Maßnahmen überzeugen zu können.

4 Landwirtschaftlicher Gewässerschutz und dessen Umweltwirkung

Die Gewässerqualität nach WRRL wird durch Konzentrationsparameter eingestuft, wohingegen Frachten keine Berücksichtigung finden. Dieselbe pflanzenbauliche Strategie kann in verschiedenen regionalspezifischen Analysen eine andere Bewertung erfahren, sofern die Konzentration und damit die Sickerwasserrate, d. h. der Verdünnungseffekt, maßgebend für die Einschätzung ist (Tauchnitz et al., 2022). Die Bewertung der Handlungsweisen zwischen verschiedenen Klima- und Bodenregionen ist damit nur unzureichend möglich. Allgemeingültige Wirksamkeitsabschätzungen von stoffaustragsmindernden Maßnahmen sind daher wissenschaftlich ambitioniert. Eine fachgerechte Beurteilung ist schwierig und die Gefahr von Stigmatisierungen aufgrund von unterschiedlich herausfordernden naturräumlichen Gegebenheiten hoch. Erschwerend kommen die betriebsspezifischen Besonderheiten hinzu. Ausgangssituationen unterscheiden sich, so dass gleiche Möglichkeiten zur N-Optimierung differenzierte Resultate hervorrufen können.

4.1 Bewertung von nitrataustragsmindernden Maßnahmen

Herausfordernd gestaltet es sich nach den von Grunert et al. (2023) gewählten und beschriebenen Kriterien die Wirkung einer einzelnen Maßnahme numerisch anhand von gewässerschonenden Einheiten wie dem N-Saldo in kg/ha oder die Verlagerung ins Grundwasser per Nitratsickerwasserkonzentration in mg/l zu beschreiben. Mehrere Ursachen sind hierfür mit Beispielen zu nennen:

Standort

In Abhängigkeit vom Standort ergeben sich differenzierte Wirkungseffekte. N-Überhänge im Silomaisanbau durch eine zu hohe Ertragserwartung sind auf flachgründigen bzw. sorptionsschwachen und zusätzlich ertragsunsicheren leichten D-Standorten dringend zu vermeiden, weil mit ihnen die Durchwaschungsrate und damit auch die Verlagerung von Nitrat im Vergleich zu einem tiefgründigen Lösslehm Boden um den Faktor drei höher ist. Zusätzlich führt der flachere durchwurzelbare Raum auch zu einer geringeren N-Aufnahme des in tiefere Schichten ausgetragenen Nitrats im darauffolgenden Frühjahr. Für extrem flachgründige V-Standorte wirken beide Argumente verstärkend, wobei hier, durch die höheren Niederschläge der absolute N-Austrag höher aber die Konzentration aufgrund der Verdünnung geringer ist. Vorwiegend auf tiefgründigen Standorten besteht somit in Sachsen das Potential N-Überhänge aus dem Silomaisanbau mit der folgenden Winterung im nächsten Frühjahr wieder aufzunehmen.

Umsetzung

Eine quantitative Anwendung ist nicht vergleichbar mit deren qualitativen Ausgestaltung. Einspareffekte für die Silomaisdüngung werden verbessert je höher die Kenntnis über das Nachlieferungspotential und das allgemeine Düngeregime ist. Neben den in der Beratung erhobenen Resultaten ist auch die pflanzenbauliche Beobachtung sowie deren plausible Einschätzung durch die Landwirtinnen und Landwirte essentiell. Damit können die eigenen Erfahrungen in Einklang mit verifizierten Parametern verbunden und die langfristige Umsetzung gestärkt werden. Gleichwohl ist das fachliche Niveau der handelnden Personen und damit der korrekten Interpretation nicht homogen. Zusätzlich verstärkt, schwächt oder konterkariert die Mentalität des Anwenders die Wirkung einzelner Maßnahmen, weil die Beurteilung des Risikos eines nicht begründeten Ertragsverlustes jeweils anders eingeschätzt wird. Risikoaverse Einstellungen führen erfahrungsgemäß trotz intensiver Beratung zu geringeren Einspareffekten bei ähnlichen Voraussetzungen.

Überlagerungseffekte

Werden parallel mehrere Optimierungsansätze auf einem Schlag verfolgt, kann im Durchschnitt von einer Wirkungsverringerung der einzelnen Maßnahme ausgegangen werden. Im Beispiel bedeutet es bei Umsetzung der Maßnahme N 9 (Optimierung der Grundnährstoffdüngung) und N 12 (Teilflächenspezifische Grundnährstoffdüngung) eine negative Korrelation für das Nährstoffaustragsrisiko, weil durch N 9 bereits der wichtigste Ansatz für eine ausgewogene Pflanzenernährung gewählt wurde. Zusätzliche teilflächenspezifische Applikationen von P, K und Kalk führen zwar zu weiterer Ausschöpfung von Reserven jedoch ist die Differenz zum Ausgangszustand geringer als ohne die Anwendung von N 9.

Pflanzenbau

Abgesehen von der Pflanzenernährung haben im Pflanzenbau sehr viele betriebsspezifische Entscheidungen Einfluss auf das Ertragsgeschehen und damit auch auf die Nährstoffabfuhr und dem sich daraus errechnenden Nährstoffsalden. Bodenbearbeitung, Sortenwahl, Schlagkraft, fundierte terminliche Umsetzung (Saatzeit, Pflanzenschutzanwendungen, Erntetermin), technische Ausstattung sowie Mitarbeitermotivation wirken sich stark auf das Ergebnis einer Maßnahme aus.

Gesetzliche Vorgaben erschweren z. T. die Umsetzung der beratenen Maßnahmen. Der mit den organischen Düngern verbundene Nährstofftransfer innerhalb der Fruchtfolge und zusätzlich zwischen den Betrieben wird z. B. durch die Einschränkung der ZwFr-Düngung im Nitratgebiet und des Verbots der Düngung auf gefrorenen Boden erschwert.

Für die Abschätzung der Wirksamkeit bzw. der Umweltwirkung der beratenden Maßnahmen wird sich an der Tabelle von Grunert et al. (2023) orientiert. In der Tabelle 10 sind die N-Maßnahmen wie sie durch die AgUmenda GmbH beraten wurden, dargestellt – ergänzt um die Bewertung nach Grunert et al.

(2023). Ebenfalls in der Tabelle ist aufgeführt, wie oft die N-Maßnahme im Zeitraum 11/2022 bis 10/2023 beraten wurde. Diese Erfassung wurde aber während der Bearbeitungszeit zur gezielteren Ausrichtung der Beratung eingeführt.

Tabelle 10: Beratene N-Maßnahmen und deren Bewertung nach Grunert et al. (2023)

Nr. bei AgUmenda GmbH	Nr. bei Grunert et al. (2023)	Maßnahme	Wirkung	Offenes Potential	Besondere Eignung in Trockenperioden	Wirkungsgeschwindigkeit auf Nitrataustrag	Anzahl Beratungen 11/22-10/23
N1	B3a	Berücksichtigung der gewachsenen Biomasse bzw. N-Aufnahme beim Raps zur DBE im Frühjahr	+++	++	0	+(+)	117
N2	B3c	Operative DBE im Getreide zur 2. und 3. Gabe mithilfe von Nitratschnelltest, N-Tester	++	++	+++	+(+)	178
N3	B2a/c	Berücksichtigung der N-Nachlieferung auf tiefgründigen und langjährig organisch gedüngten Flächen zu Mais und Zuckerrüben	+	+	+	+	111
N4	B2b	Anrechnung der aufgenommenen N-Menge von ZwFr-Beständen bei der DBE zu Mais und Zuckerrüben	++	++	+	+	34
N5	C9/10/12/13	Fruchtartspezifische Einschätzung der N-Ausnutzung aus flüssigen organischen Düngern	++	++	++	+	153
N6	C6	Optimierung der Düngerstreuereinstellung mittels Messsystem zur präzisen Ausbringung der Düngemittel über die gesamte Arbeitsbreite	++	++	0	+	11

Nr. bei AgUmenda GmbH	Nr. bei Grunert et al. (2023)	Maßnahme	Wirkung	Offenes Potential	Besondere Eignung in Trockenperioden	Wirkungsgeschwindigkeit auf Nitrataustrag	Anzahl Beratungen 11/22-10/23
N7	C4	Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren zur Reduktion von N-Austrägen beim Einsatz flüssiger organischer Dünger	++	++	+	+	-
N8	C1	Strip-Till als Möglichkeit für eine stoffaustragsmindernde Landbewirtschaftung durch platzierte Düngung beim Mais	++	++	+++	+	22
N9	A1	Optimale Versorgung mit Grundnährstoffen als Voraussetzung für eine hohe N-Ausnutzung	+++	+++	+++	+	58
N10		Einsatz von Ureaseinhibitoren in Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung bei Weizen und Körnermais					
N11	C10	Organische Düngung von Getreidebeständen im Frühjahr zur effizienten Nährstoffausnutzung und Stoffaustragsminderung	++	++	0	+	42
N12	C8	Teilflächenspezifische Grunddüngung als Reaktion auf unterschiedliche N-Entzüge in Bereichen mit unterschiedlich hohem Ertragspotential	++	++	+++	+	10
N13	C8	Berücksichtigung von Ertragszonen mit starkem N-Nachlieferungspotenzial	++	++	+++	+	15

Nr. bei AgUmenda GmbH	Nr. bei Grunert et al. (2023)	Maßnahme	Wirkung	Offenes Potential	Besondere Eignung in Trockenperioden	Wirkungsgeschwindigkeit auf Nitrataustrag	Anzahl Beratungen 11/22-10/23
N14	C8	Berücksichtigung von stabilen Ertragszonen	++	++	++	+	27
N15	B3a 3b	Teilflächenspezifische Erfassung des aktuellen N-Ernährungszustandes bzw. der Pflanzenbiomasse mithilfe von Sensoren oder Satellitenkarten beim Raps und Getreide	+++	+++	+	+	102
N16	D6	Anbau von ZwFr	+++	++	0	+++	39
N17	C10	Organische Düngung im Grünland	+	+	++	0	6
N18	B2d	N _{min} -Beprobung über die gesetzlichen Vorgaben hinaus (60-90 cm nach nachlieferungsstarken Kulturen und Berücksichtigung von Bodenunterschieden)	++	++	+	+	76
N19	A3	Integration extensiver Fruchtarten in die betriebliche Fruchtfolge (z. B. Futterweizen, Roggen, Sommergerste, Hafer, nachwachsende Rohstoffe)	+++	++	+++	+(+)	14

N1: Berücksichtigung der gewachsenen Biomasse bzw. N-Aufnahme beim Raps zur DBE im Frühjahr

Die N-Maßnahme ist auf allen Standorten anwendbar, wobei Standorte mit einer hohen N-Nachlieferung und mit einer regelmäßigen N-Düngung zu Raps vor Winter das höchste N-Einsparpotenzial bieten. Durch die Novellierung der DüV (2020) und der damit verbundenen Pflicht zur Anrechnung der im Herbst ausgebrachten mineralisch verfügbaren N-Mengen ($\text{NH}_4\text{-N}$ bei Organik, $\text{NO}_3\text{-N}$, NH_4 und Carbamid bei Mineraldünger) im Frühjahr reduzierte sich das N-Einsparpotential der Maßnahme. Ziel war es fortan in der Argumentation die Dünger gezielter in der Teilfläche einzusetzen um das Ertragspotential im Nitratgebiet auszuschöpfen und Überhänge auf schlechten Teilflächen (Boden, Krankheiten, Schädlingsdruck, etc.) zu vermeiden.

Mit 117 Beratungen (11/2022 bis 10/2023) gehört diese Beratung mit zu den am häufigsten beratenen Maßnahmen.

N2: Operative DBE im Getreide zur 2. und 3. Gabe mithilfe von Nitratschnelltests, N-Tester

Typisch für weite Teile in Mitteldeutschland ist, dass die kontinuierliche N-Mineralisation durch häufig auftretende längere Trockenperioden in der Vegetationszeit behindert wird. Unter den oft nur kurzzeitigen optimalen Bodenfeuchte- und Temperaturbedingungen kommt es dann zu verstärkter Stickstofffreisetzung. Besondere Beachtung verdienen dabei die tiefgründigen Lössböden, wo neben der jahresspezifischen N-Nachlieferung auch auf Grund der verhaltenen Niederschlagsmengen in tieferen Bodenschichten eingetragener Nitratstickstoff von den Pflanzenbeständen im Verlauf der Vegetation verfügbar wird.

In Kampagnen wurden regionalbezogen Übersichten zur aktuellen N-Versorgung in Abhängigkeit des Bewirtschaftungsregimes erstellt. Den teilnehmenden Betrieben konnte durch wöchentliche Messungen zeitlich kontinuierlich ein Überblick über den N-Düngebedarf bzw. die Wirkung der durchgeführten Düngung gegeben werden, um präzisere Entscheidungen treffen oder weitere Erfahrungen sammeln zu können.

Mit 178 Beratungen (11/2022 bis 10/2023), wurde diese N-Maßnahme am meisten beraten.

N3: Berücksichtigung der N-Nachlieferung auf tiefgründigen und langjährig organisch gedüngten Flächen zu Mais und Zuckerrüben

Mais und Zuckerrüben sind aufgrund der langen Vegetationszeit und des spät einsetzenden Nährstoffbedarfs, welcher in die Hauptmineralisationszeit im Sommer fällt, in besonderem Maße dazu in der Lage, von der N-Nachlieferung aus dem Boden zu profitieren. Da v. a. Mais in Betrieben mit Tierhaltung, aber auch Zuckerrüben, häufig organisch versorgt werden, ist die N-Düngung oftmals schon mit der

Aussaat abgeschlossen. Entsprechend ist bei der DBE bei diesen Kulturen dem N-Nachlieferungspotential des Standortes mit Blick auf die Verbesserung der N-Effizienz erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Auf den tiefgründigen bzw. regelmäßig organisch gedüngten Beratungsstandorten reagierte der Mais nur vergleichsweise moderat aufsteigende N-Düngeniveaus. Die Düngeeffekte wurden hierbei häufig durch die N-Nachlieferung aus dem Boden – je nach Standort kann diese zwischen 90 und 180 kg N/ha betragen – überdeckt. Auf den Lößstandorten ist Mais darüber hinaus in der Lage, auch vorhandene Nährstoffe unterhalb von 60 cm Bodentiefe zu erschließen.

Die Häufigkeit der Beratungen (111mal von 11/2022 bis 10/2023) zeigt, dass die Beratung dieser N-Maßnahme für die Betriebe relevant ist. Das Einsparpotenzial wird hier im Mittel auf 30 kg N/ha geschätzt.

N4: Anrechnung der aufgenommenen N-Menge von ZwFr-Beständen bei der DBE zu Mais und Zuckerrüben

ZwFr können bei optimaler Produktionstechnik und günstigen Witterungsbedingungen erhebliche Mengen an Stickstoff aufnehmen und somit vor Auswaschung über Winter schützen. Mit Absterben der Pflanzen bei niedrigen Temperaturen wird leicht löslicher Stickstoff (v. a. Nitrat) freigesetzt, welcher anteilig (35 bis 55 %) vom Mais genutzt werden kann. Anders als nach den Vorgaben der DüV, tragen auch abfrierende Nichtleguminosen zur N-Ernährung der Nachfrucht bei. In der fachlich erweiterten Version von BESyD wird dies durch Eingabe der geschätzten Biomasse berücksichtigt. Der Effekt der ZwFr zur Ernährung der Folgekultur wurde aber durch die Novellierung der DüV (2020) und der damit verbundenen Pflicht zur Nutzung bei Düngung im Herbst (gilt nur im Nitratgebiet) reduziert. Durch den Wegfall der üblichen Zufuhr im Herbst für das Jugendwachstum der Pflanzen wurde auch deren potentielle Nährstoffaufnahme und damit auch die Wiederfreisetzungsrates im Frühjahr zu den Sommerungen reduziert.

*34 Betriebe haben sich im vergangenen Jahr zu dieser N-Maßnahme beraten lassen. Das Einsparpotenzial besteht vor allem bei sehr gut entwickelten und gut mit N versorgten ZwFr-Beständen und wird in diesen Fällen auf 20 bis 50 kg N/ha geschätzt (60 kg N * 30 % Anrechnung bzw. 100 kg N * 50 % Anrechnung).*

N5: Fruchtartspezifische Einschätzung der N-Ausnutzung aus flüssigen organischen Düngern

Die Anrechnung der N-Ausnutzung aus flüssigen und festen organischen Düngern nach DüV (2017) erfolgt unabhängig von der Kultur und dem Ausbringungstermin. Bei termingerechter Ausbringung mit verlustarmer Technik sind insbesondere Mais und Zuckerrüben dazu in der Lage, den Stickstoff deutlich effizienter zu nutzen, da sie im Sommer zur Zeit der höchsten Umsetzung des organischen gebundenen Stickstoffs noch hohe Mengen verwerten.

Für Wintergetreide und Wintererbsen ist eine möglichst frühe Ausbringung ausgangs des Winters zur guten Verwertung angezeigt.

Mit 153 Beratungen (11/2022 bis 10/2023) wurde die Maßnahme zusammen mit den Maßnahmen N3 und N11 beworben, um einen ausgewogenen organischen Düngereinsatz im Unternehmen bzw. durch Betriebskooperationen zu erzielen.

N6: Optimierung der Düngerstreuereinstellung mittels Messsystem zur präzisen Ausbringung der Düngemittel über die gesamte Arbeitsbreite

Eine möglichst gleichmäßige Verteilung der vorgesehenen Nährstoffmengen in der Fläche ist Voraussetzung für die Ausnutzung des vorhandenen Ertragspotentials sowie für die Vermeidung von möglichen Umweltbelastungen. Die Ausbringung mineralischer Dünger erfolgt überwiegend mittels Scheibenstreuern. Neben den Mengen ist auch die Verteilung in der Fläche durch die Wurfweite je nach Eigenschaft der Dünger anzupassen. Zwar geben die Hersteller für geprüfte Düngerqualitäten entsprechende Einstellhinweise heraus, aber die Qualität der Produkte kann sich durch Transport, Umschlag und Lagerung in ihren Flugeigenschaften beträchtlich ändern. Das erfordert vom Anwender entsprechende Anpassung und kann im Feld konkret durch Aufstellung von Auffangschalen bzw. Verteilmatten oder durch am Streuer integrierte Verteilmesssysteme überprüft und entsprechend nachjustiert werden. Neben Ertrags- und Qualitätsvorteilen reduziert sie punktuelle Nährstoffüberschüsse und Austräge mit negativen Umweltfolgen. Betriebe mit einem hohen Anteil eingesetzter granulierter Mineraldünger sollten regelmäßig (je Düngerart und Düngercharge) die Verteilung dieser im Feld überprüfen.

Mit 11 Beratungen (11/2022 bis 10/2023) wurde diese Maßnahme regelmäßig und vor allem auf Nachfrage umgesetzt. Windige und feuchte Bedingung erschwerten eine höhere Überprüfungsanzahl in den Beratungsbetrieben, weil die dadurch entstehenden Anforderungen an Arbeitsspitzen und Ausrüstung wirtschaftlich nicht abgedeckt werden konnten.

N7: Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren (NI) zur Reduktion von N-Austrägen beim Einsatz flüssiger organischer Dünger

Durch den Einsatz von NI wird in Abhängigkeit von den jeweiligen Anwendungsbedingungen die Umwandlung von Ammonium in Nitrat zeitlich verzögert. Vorteile sind zu erwarten, wenn die Ausbringung von $\text{NH}_4\text{-N}$ deutlich vor der Zeit erhöhten N-Bedarfs bei kalten Bodentemperaturen, hoher Bodenfeuchten, hohen Niederschlägen und einer geringen mikrobiellen Aktivität im Boden liegt. Der Einsatz von NI ist auf flachgründigen Flächen mit einem höheren N-Verlagerungspotential im Frühjahr angezeigt. Weiterhin sinkt insbesondere auf verdichteten und wassergesättigten Böden durch eine Verlangsamung der Nitrifikation die Lachgasbildung. Positive Effekte einer länger anhaltenden Ammoniumernährung wurden im Getreide beobachtet.

Diese N-Maßnahme wurde kaum dokumentiert, da die Empfehlungen zum Einsatz eine untergeordnete Bedeutung in den Beratungsgesprächen hatten.

N8: Strip-Till als Möglichkeit für eine stoffaustragsmindernde Landwirtschaft durch platzierte Düngung beim Mais

Positive Erfahrungen zum Thema Strip-Till wurden gesammelt und deren Umsetzung diskutiert. Hohe technische Investitionen sowie Verfahrenskosten und eine begrenzte Schlagkraft stellten über die Jahre in Gesprächen mit anwendenden Dienstleistern die größte Herausforderung für eine umfangreichere Anwendung dar. Neue technische Innovationen in diesem Segment bieten aber das Potential für eine betriebseigene Technisierung und sollten zukünftig intensiver diskutiert werden. In Demonstrationen und Beratungen zeigten die Neuerungen ihre Vorzüglichkeit durch die Möglichkeit einer guten Wurzel Ausbildung und Ausnutzung der unter Fuß applizierten Nährstoffe bei einer Konservierung der Bodenbedeckung.

Insgesamt wurde diese Maßnahme 22-mal beraten.

N9: Optimale Versorgung mit Grundnährstoffen als Voraussetzung für eine hohe N-Ausnutzung

Für eine langfristige und nachhaltige Steigerung der Stickstoffeffizienz bedarf es einer auf die speziellen Standortbedingungen angepassten Düngung. Die Gewährleistung einer ausgewogenen Pflanzenernährung bildet dabei eine wesentliche Grundlage. Neben den verschiedenen Makro- und Mikronährstoffen sind für die Absicherung einer hohen Bodenfruchtbarkeit die Aufrechterhaltung eines optimalen pH-Wertes, eines standorttypischen Humusgehaltes sowie einer das Pflanzenwachstum begünstigenden Bodenstruktur notwendig (Albert & Grunert, 2013). In der Summe trägt dies alles zur Ertragsstabilisierung bei und puffert ungünstige Jahreswitterungsbedingungen ab. Mit dem starken Abbau der Tierbestände in den neuen Bundesländern seit Anfang der 1990er-Jahre ist auch der Einsatz organischer Dünger und der darin enthaltenen Nährstoffe deutlich zurückgegangen. Dieser Rückgang wurde in den folgenden Jahren auch nicht mit verstärktem Einsatz mineralischer Grundnährstoffe ausgeglichen. Die seit 20 Jahren anzutreffenden negativen P-Bilanzen gehen mit einer kontinuierlichen Zunahme der Gehaltsklassen A und B (Unterversorgung) einher.

Zu dieser Maßnahme fanden von 11/2022 bis 10/2023 58 Betriebsberatungen statt, häufig in Verbindung mit der Anlage von P-Fenstern anhand derer die Wirkung der P-Gabe gerade auf P-Mangelstandorten demonstriert werden konnte.

N10: Einsatz von Ureaseinhibitoren(UI) in Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL) bei Weizen und Körnermais

UI verringern sowohl die Lachgas- als auch Ammoniakentwicklung nach der Düngung im Boden. Pflanzen steht dadurch mehr nutzbarer Dünger-N für das Wachstum zur Verfügung (Herbst et al., 2006).

Durch die DüV (2020) wurden mit UI inhibierte Harnstoffdünger bei nicht direkter Einarbeitung zur Pflicht.

N11: Organische Düngung von Getreidebeständen im Frühjahr zur effizienten Nährstoffausnutzung und Stoffaustragsminderung

Das beschriebene Dilemma zwischen fachlichem Anspruch (Bodenschutz) und gesetzlichen Rahmenbedingungen erschwert die flächenhafte Anwendung flüssiger organischer Dünger im Frühjahr zu Winterungen wie Getreide. Hohe Bodenfeuchten verhindern bei frostfreiem Boden oft eine ackerbaulich vertretbare Befahrung der Flächen mit den schweren Ausbringsystemen, obwohl durch die im Jahr 2020 novellierte DüV Ausbringmöglichkeiten im Herbst massiv und aus Sicht der Nährstoffverwertung korrekterweise eingeschränkt wurden. Können die Dünger nicht zum optimalen Zeitpunkt zu Getreide eingesetzt werden, besteht die Gefahr einer nicht bedarfsgerechten Düngung zu Mais, weil dieser zu hohe Nährstoffdargebote ertragsneutral toleriert. Um dem vorzubeugen und einen ökonomisch und ökologisch sinnvollen Organikeinsatz zu gewährleisten, wurde die Düngung von Getreidebeständen im Frühjahr intensiv thematisiert. Kooperationen mit Nachbarbetrieben wurden zusätzlich beworben um einen Nährstoffausgleich in der Region zu fördern.

Insgesamt wurde das Themenfeld organische Düngung zu Getreide 42-mal mit den Beratungsbetrieben besprochen und deren Umsetzung analysiert und z. T. realisiert.

N12: Teilflächenspezifische Grunddüngung als Reaktion auf unterschiedliche N-Entzüge in Bereichen mit unterschiedlich hohem Ertragspotential

Selbst auf regelmäßig gedüngten Ackerflächen existieren Zonen mit sowohl niedriger als auch hoher Versorgung nebeneinander. Diese Differenzierungen wirken sich natürlich auch auf das Ertragsgeschehen und damit auf die Effizienz des eingesetzten Stickstoffs aus.

Je nach technischer Ausstattung und der Bereitschaft zur Inanspruchnahme einer entsprechenden Dienstleistung war das Thema in den Betrieben von Interesse. 12-mal wurde daher die Teilflächenspezifische Grundnährstoffdüngung in den Unternehmen erörtert und deren Sinnhaftigkeit empfohlen.

N13: Berücksichtigung von Ertragszonen mit starkem N-Nachlieferungspotential

Die Hangabflussbahnen in der Lommatzcher Pflege sind aufgrund der kontinuierlichen Anreicherung von nährstoffreichem Feinboden (Kolluvisol) infolge von Bodenabtrag durch eine enorme Tiefgründig-

keit und ein ausgesprochen hohes Nährstoffnachlieferungsvermögen gekennzeichnet. Dieser Sachverhalt lässt sich auch mehrjährig anhand von Satellitenkarten zur Abreife des Pflanzenbestandes nachvollziehen. Durch Berücksichtigung dieser Besonderheit besteht in diesen Teilbereichen (ca. 10 % der Fläche) dauerhaft ein erhebliches N-Einsparpotenzial.

Diese Maßnahme eignet sich besonders auf heterogenen Schläge mit differenzierter N-Nachlieferung und wurde in 15 Beratungsgesprächen aufgegriffen.

N14: Berücksichtigung von stabilen Ertragszonen

Auf den heterogenen Ackerschlägen im Trockengebiet sind relativ stabile, aber differenzierte Ertragsbereiche anzutreffen. Allein durch die Stickstoffdüngung lässt sich hier kein einheitliches Ertragsniveau erzielen. Letztendlich entscheidet der Boden mit seinem unterschiedlichen Wasserspeichervermögen über die Erntemenge. Darauf muss die N-Düngung abgestimmt werden. Die Überdüngung der ertragschwachen Flächenanteile erbringt unter den trockenen Bedingungen die größten Nitratverluste, weil hier selbst bei dem zumeist begrenzten Niederschlagsangebot die verbliebenen Reststickstoffmengen über Winter ausgetragen werden. Untersuchungen von Schliephake (2011) zeigen, dass eine Zonierung in ertragsstarke und ertragschwache Teilflächen, bspw. anhand von Bodenkarten – vorzugsweise mehrjährige Satellitenkarten – über verschiedene Anbaujahre hinweg eine gute Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Ertragsgeschehen erbrachte.

Durch das rege Interesse der betroffenen Betriebe konnten die stabilen Ertragszonen vor Ort 27-mal aufgegriffen werden.

N15: Teilflächenspezifische Erfassung des aktuellen N- Ernährungszustandes bzw. der Pflanzenbiomasse mithilfe von Sensoren oder Satellitenkarten beim Raps und Getreide

Die vor Winter gebildete Biomasse bzw. aufgenommene Stickstoffmenge kann beim Raps insbesondere auf großen und heterogenen Schlägen beträchtlichen Schwankungen unterworfen sein. Satellitengestützte Biomassekarten bieten die Option einer ortsangepassten Düngung durch Reaktion auf die vor Winter gewachsene Pflanzenmasse indem diese bei der N-Mengenberechnung und N-Applikation im Frühjahr Berücksichtigung findet. Für eine möglichst breitflächige Implementierung der Herangehensweise wurde die Umsetzung erörtert und durch fundierte Eichkurven und Anwendungstools realisiert. Sensorsysteme sowie deren Funktion unterscheiden sich herstellerabhängig und werden autark mittels Plug and Play System als auch Entscheider-abhängig angewendet.

Gerade die in die Teilfläche getragene Biomasseabhängige Rapsdüngung bot ein hohes Anwendungspotential der Methode, welche 102-mal angesprochen und umgesetzt wurde.

N16: Anbau von Zwischenfrüchten

Der pflanzenbauliche Effekt der ZwFr ist durch die Förderung des Bodenlebens, einer ständigen Bodenbedeckung und der guten Nährstoffverwertung bzw. deren Freisetzung für die Folgefrucht hervorzuheben (Gentsch et al., 2021). Zur Ausschöpfung der genannten Potentiale der ZwFr bedarf es aber einer hervorragenden Etablierung der Bestände und einer standort- und fruchtfolgeabhängigen Auswahl der Kulturen oder Saatgutmischungen. Anfang August etablierte Bestände entwickeln durch die längere Wachstumsphase ein üppiges und tiefreichendes Wurzelsystem. Nach mehrmaliger Bearbeitung spät gesäter Bestände stellen die höchste Absicherung gegenüber phytosanitär nachteiligen Beikräutern dar.

Produktionstechnische Fragestellungen zu den Komponenten und zum Anbauverfahren wurden insgesamt 39-mal mit den Kooperationsbetrieben diskutiert.

N17: Organische Düngung im Grünland

Zur flächenhaften Verteilung der anfallenden flüssigen organischen Dünger bietet sich deren Einsatz im Grünland an. Geringe Nährstoffmengen im Herbst bieten die Möglichkeit zur Regeneration der Grasnarbe über Winter. Eine zeitige Applikation im Frühjahr ermöglicht mit der Ausbringung eine Nachsaat für eine dauerhaft ertragreiche Grasmischung (Müller et al., 2019). Ziel ist es, die flüssigen Dünger frei von Futtermittelschmutzungen anzuwenden, um deren Nährstoffe in Kombination mit einer Mineraldüngung effektiv zu nutzen. In Beratungen wurde die Bedeutung des Einsatzes offensichtlich und soll zukünftig stärker aufgegriffen werden.

Die bisher 6 geleisteten Beratungen stellen einen ersten Umsetzungsstand mit Blick auf zukünftige Entwicklung dar.

N18: N_{min}-Beprobung in 60-90 cm Tiefe nach nachlieferungstarken Kulturen und unter Berücksichtigung von Bodenunterschieden

Umfangreich angebaute Marktfruchtkulturen, wie Weizen, Zuckerrübe, Raps und Mais erschließen auf tiefgründigen und gut durchwurzelbaren Lössböden den Boden über eine Tiefe von 90 cm hinaus, um sowohl Wasser als auch Nährstoffe aus tieferen Zonen aufnehmen zu können. Von Interesse für eine bedarfsgerechte Düngung ist daher gerade auf diesen Standorten eine tiefere N_{min} Beprobung zwischen 60 und 90 cm. Sie gibt in Abhängigkeit der Vorfrucht, der N-Überhänge und der N-Freisetzung einen Aufschluss über den N_{min}, welcher in der späteren Wachstumsphase in Trockenperioden für die Ernährung zur Verfügung steht, wird dieser doch mit dem Wasser über den Transpirationsstrom aufgenommen und in das Zellmaterial eingebaut. Um den Untersuchungsaufwand effizient zu gestalten sollten Flächen untersucht werden, auf denen höhere N_{min}-Gehalte in 60-90 cm erwartet werden. Dazu gehören

Bewirtschaftungseinheiten mit legumen Vorfrüchten, mit einer intensiven organischen Düngung und hohen N-Überhängen der Vorfrucht.

Gerade im Lößhügelland stieß die Maßnahme auf Beachtung und konnte durch tiefe Beprobung (60 – 90 cm) 76-mal mit aktuellen N_{\min} -Gehalten unterlegt werden. Düngemaßnahmen wurden je nach Gehalt an die ermittelten Ergebnisse angepasst.

N19: Integration extensiver Fruchtarten in die betriebliche Fruchtfolge (z. B. Futterweizen, Roggen, Sommergerste, Hafer, nachwachsene Rohstoffe)

In den letzten beiden Jahren wurde der Maßnahmenkatalog noch um extensive Fruchtarten angepasst. Ziel war es auf den durch Frühjahrstrockenheit gefährdeten leichteren D-Standorten Lösungen anzubieten, die der Ertragsvariabilität und damit auch der schwankenden Nährstoffverwertung Beachtung schenkt. Auf diesen Standorten sind N-Überhänge durch die hohe Auswaschungsgefahr über Winter verlagerungsgefährdet. Extensive Kulturen wie Roggen, Hafer oder Sonnenblume haben einen geringen N-Bedarf bzw. eine höhere N-Effizienz. Restriktivere Düngestrategien ermöglichen bei optimalen feuchten aber unwahrscheinlichen Wachstumsbedingungen geringe Ertragseinbußen und stellen somit eine interessante ökonomisch und ökologisch empfehlenswerte Anbaustrategie dar.

Mit 14 Unternehmen wurde im Zeitraum von 11/2022 - 10/2023 über die Anpassung der Fruchtfolge gesprochen.

4.2 Bewertung von erosionsreduzierenden Maßnahmen

Wirksamkeitsabschätzungen für erosionsmindernde Maßnahmen sind mittels Simulationsmodellen und Bodenabtragsmessungen möglich. Dazu wird auf einem 3x1 m großen Feldbereich ein definiertes Niederschlagsereignis per Beregnung nachgebildet. Der Boden wird so lange bewässert, bis es zum Oberflächenabfluss kommt. Um die Hanglänge besser nachbilden zu können, wird zusätzlich zum eigentlichen Beregnungswasser das abfließende Wasser erneut auf das Messfeld gepumpt. Mit diesem sogenannten Überstau lässt sich das Erosionsereignis realitätsnäher abbilden. Anhand konkreter Bodenabtragswerte in t/ha kann die Wirkung einzelner Bewirtschaftungsverfahren verglichen und bewertet werden. Bereits seit vielen Jahren fließen die so in Sachsen gewonnenen Resultate in das Simulationsprogramm E3D ein.

Einschränkend wirkt, dass die Bodenbedeckung mit E3D nur unzureichend modelliert werden kann. Abbildung 60 gibt den Bodenbedeckungsgrad für langjährig unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren und verschiedene Bestimmungsmethoden wider. Mit der visuellen Methode »Fächerbestimmung« wird E3D parametrisiert. Ebenfalls visuell ist die Methode »Gitterraster«. Die Variante »SoilCover« ist eine digitale Methode, bei der die Bodenbedeckung mit Hilfe eines Algorithmus bestimmt und

der Einfluss der beobachtenden Person ausgeschlossen wird. Die mittlere Abweichung vom mittleren Bodenbedeckungsgrad der drei Bestimmungsmethoden belief sich auf 13 %. Auch Pforte (2010) kommt zu dem Schluss, dass visuelle Verfahren die tatsächliche Bodenbedeckung überschätzen und ein bedeutender Einfluss der erhebenden Person besteht.

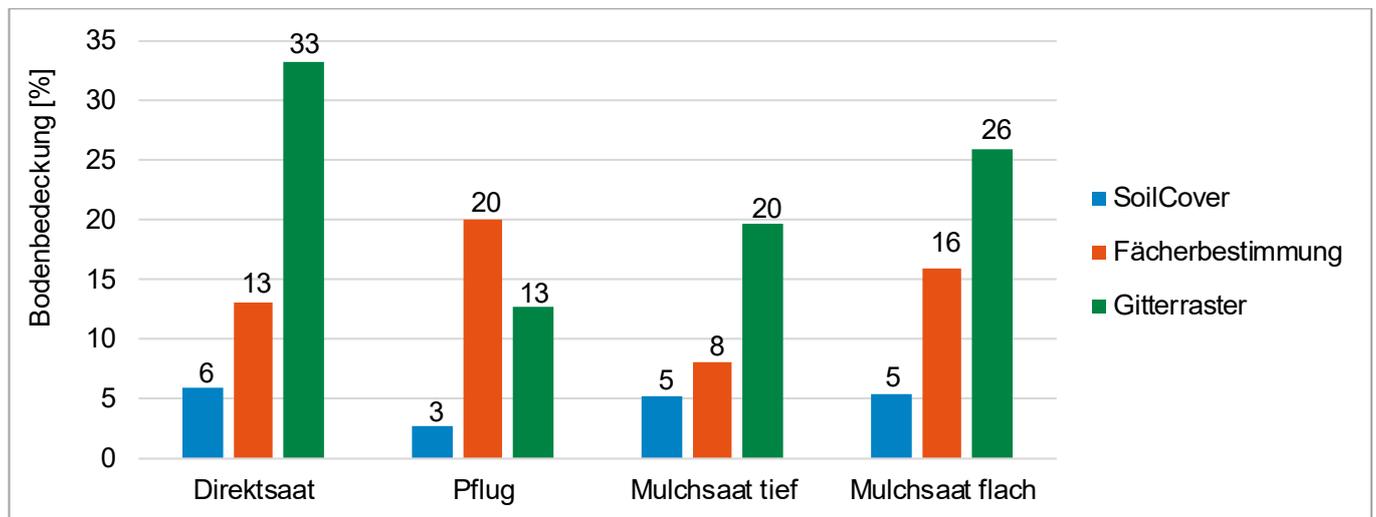


Abbildung 60: Bodenbedeckung in Abhängigkeit langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren und Bestimmungsmethoden in 2023 (n=4)

In Abbildung 61 ist der mit E3D modellierte Bodenabtrag bei 5 und 20 % Bodenbedeckung und einer Bodenfeuchte von 90 % nFK dargestellt. Während sich die Bodenbedeckung vervierfacht, hat dies praktisch keinen Einfluss auf die Simulationsergebnisse und damit auf das modellierte Erosionsrisiko. Dies stellt eine nicht vernachlässigbare Diskrepanz zu den praktischen Erfahrungswerten und der Literatur (Xiao et al., 2021) dar.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit den vorhandenen Instrumenten eine Bewertung der Wirksamkeit verschiedener Erosionsschutzmaßnahmen möglich ist. Allerdings ist die Abschätzung des Erosionspotentials bei Starkniederschlägen für verschiedene Bodenbedeckungsgrade nur unzureichend machbar. Es bedarf zwingend einer präziseren Einschätzung der konservierenden Bodenbearbeitung, um motivierten Betrieben entsprechende Erfolgsaussichten durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität und Erhöhung des Bodenbedeckungsgrades aufzeigen zu können.

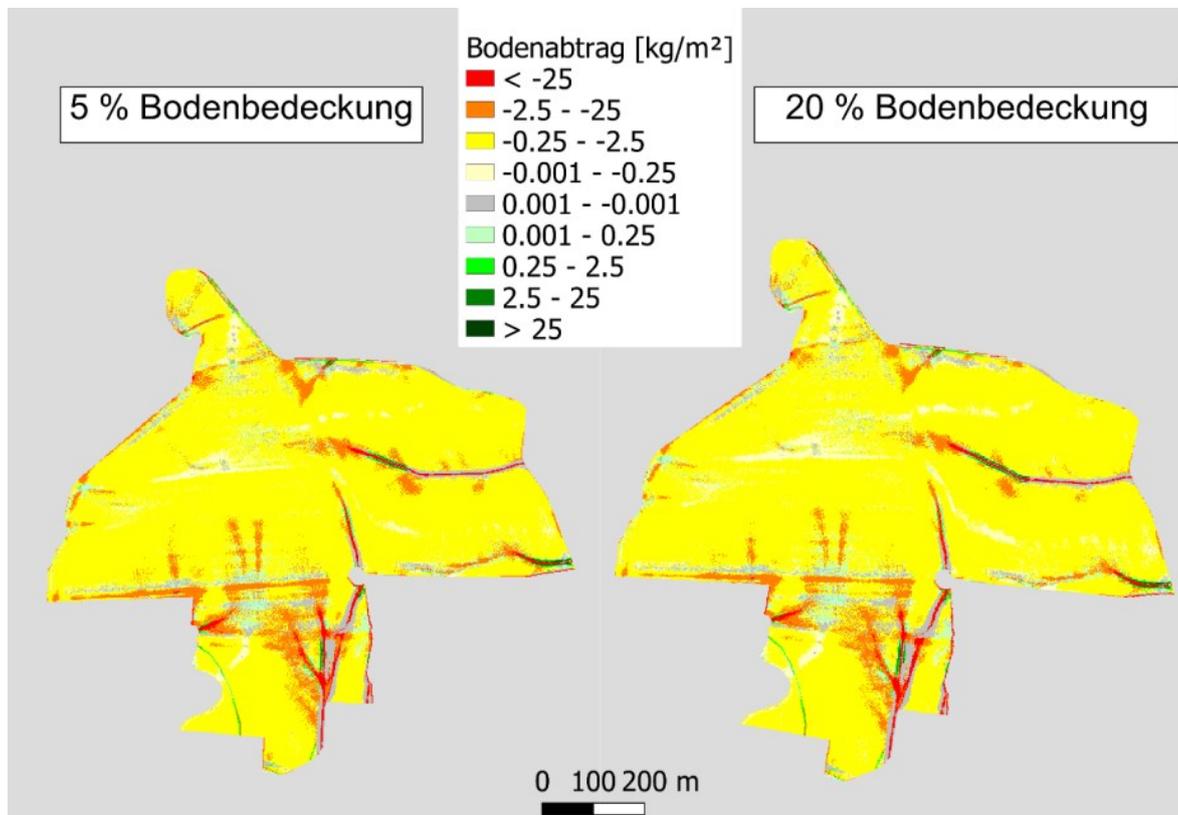


Abbildung 61: E3D-Ergebnisse zum Bodenabtrag bei 5 % und 20 % Bodenbedeckung (Bild: AgUmenda GmbH)

4.3 Umsetzungsstand der N- und P-Maßnahmen

Seit 2021 führt das Beratungsunternehmen AgUmenda GmbH im Auftrag des LfULG Befragungen zum Umsetzungsstand von beratenen stoffaustragsmindernden N- und P-Maßnahmen durch. Grundlage der einzelbetrieblichen Beratungen wie auch der Befragungen bilden umfangreiche N- und P-Maßnahmenkataloge (Tabelle 11, Tabelle 12). Erfasst werden dabei der Ausgangszustand vor dem Jahr 2019 und der Umsetzungsstand im Befragungsjahr. Die Ergebnisse liegen für 19 stoffaustragsmindernde N-Maßnahmen und 65 befragte Betriebe vor, welche eine Ackerfläche von insgesamt 29.153 ha im Nitratgebiet nach SächsDüReVO vom 03.12.2018 bewirtschaften (Tabelle 11). Zur Erfassung des Umsetzungsstandes der erosionsmindernden P-Maßnahmen wurden 25 Betriebe befragt, die insgesamt 4.037 ha Ackerland in acht prioritär P-gefährdeten Oberflächenwasserkörpern nach WRRL bewirtschaften (Tabelle 12).

Erläuterungen zum Umsetzungsstand der N-Maßnahmen

- Die biomasseabhängige Rapsdüngung (N1) wurde im Projekt intensiv beraten und die Umsetzung durch anwenderfreundliche Werkzeuge gefördert. Eine bedeutende weitere Zunahme des Anwendungsumfanges ist nicht zu erwarten. Durch die überarbeitete Düngeverordnung wurde die Anrechnung des im Herbst ausgebrachten verfügbaren Stickstoffs eingeführt. Dieser wird im Regelfall in die Biomasse eingebunden und ist somit ins biomasseabhängige Rapsdüngesystem inkludiert. Es gilt den Anwendungsumfang zu konservieren.
- Vor der Beratung wurde die operative N-Bedarfsbestimmung (N2) bereits auf 10 % der befragten Ackerfläche angewendet. Dass sich der Nutzungsumfang kaum reduziert hat (-9 %), kann als Erfolg bewertet werden, da das meist genutzte N-Tester-System durch die Firma Yara verändert wurde. Nutzerfreundliche Bedienelemente wurden durch eine App, welche viele Daten benötigte, ersetzt und Betriebe trennten sich davon. Der beworbene Nitratschnelltest konnte die Abkehr nur bedingt abfangen, beinhaltet aber eine fundierte und auf landeseigenen Ergebnissen aufbauende Methodik (Grunert, 2021). Restriktivere Gesetze mit festgesetzten Obergrenzen verringerten die Möglichkeit für eine operative und an den Bedarf angepasste Düngung zusätzlich.
- Intensiv wurde die Nährstoffnachlieferung aus dem Boden thematisiert (N3). Das Bewusstsein für bodenbürtige Freisetzungsprozesse wurde gestärkt und deren Berücksichtigung bei der N-Bedarfsermittlung gefördert. Geringere N-Gaben waren meist das Ergebnis der Beratung. Die Umsetzung setzt allerdings eine entsprechende technische Ausstattung voraus, um die eingesparten organischen Dünger an anderer Stelle einsetzen zu können.
- Die Nährstoffspeicherung in ZwFr mit Herbstdüngung (N4) stieß bei den Betrieben auf großes Interesse, um im Frühjahr ertragsneutral Nährstoffmengen einsparen zu können. Zukünftig wird diese Maßnahme in geringerem Umfang in den Nitratgebieten gefragt sein, da ZwFr ohne Nutzung nicht mehr gedüngt werden dürfen.
- Maßnahme N5 ist im Komplex mit den Maßnahmen N3, N4 und N11 zu sehen.
- Moderne Radarmesssysteme ermöglichen eine kontinuierliche Optimierung der Düngerstreuer während des Arbeitsprozesses (N6). In kollegialen Gruppen förderte der herstellerunabhängige Austausch das Investitionsinteresse. Permanent wurde auch die Düngerstreueinstellung mittels Messsystemen angeboten. Insgesamt konnte der bereits hohe Umsetzungsstand weiter ausgeweitet werden.

- Grundlagen für den Einsatz von NI (N7) sind weitgehend bekannt und werden sinnvoll genutzt.
- Das Wissen über den optimalen Einsatz von Grundnährstoffen (N9) ist weit verbreitet. Jedoch führen ökonomische Zwänge oftmals zur Reduktion der Grundnährstoffdüngung. Zudem lässt das große Puffervermögen des Bodens oftmals keine einfachen kausalen Zusammenhänge zwischen Nährstoffgabe und Ertrag erkennen. Eine Sensibilisierung zur Thematik ist weiterhin zwingend erforderlich, um Verbesserungen zu fördern.
- Im Komplex mit den Maßnahmen N3, N4 und N5 wurde der Einsatz flüssiger organischer Dünger im Getreide (N11) intensiv beraten. Gesetzliche Vorgaben verstärkten die Nachfrage nach einer Beratungsleistung und sorgten zusätzlich für eine verstärkte Anwendung. Grundvoraussetzung für eine flächenhafte Umsetzung ist die technische Verfügbarkeit passender Ausbringgeräte.
- Bereits auf einem Drittel der befragten Ackerfläche erfolgt eine teilflächenspezifische Erfassung der Grundnährstoffsituation (N12). In diesem Bereich sollten zukünftig weitere Anstrengungen unternommen werden, um bei ökonomischen Zwängen ein Mindestmaß an Grundnährstoffversorgung abzusichern.
- Die Maßnahmen N13 und N14 haben hohe Ansprüche an das pflanzenbauliche Wissen und die technische Ausstattung im Betrieb. Für eine größere flächenhafte Umsetzung sind nutzerfreundliche und herstellerunabhängige Anwendersysteme notwendig.
- Instrumente für die Maßnahme N15 wurden auf deren Anwenderfreundlichkeit geprüft und vorteilhafte Anwendungen empfohlen. Begleitend wurden Felduntersuchungen und die daraus entstehenden Eichkurven zur Ableitung der optimalen N-Düngemengen genutzt. Zukünftig bedarf es weiterer Forschung, um die Kalibrierungen der Satellitenbilder anhand von Sorten, PSM und Standort zu präzisieren. Sich hieraus ableitende N-Aufnahmeschätzungen weisen geringere Abweichungen zur tatsächlichen N-Aufnahme auf und ermöglichen eine an das Teilstück angepasste bedarfsge-rechtere Düngung.
- Eine weitere Steigerung des ZwFr-Anbaus (N16) ist durch die etablierten Fruchtfolgen kaum möglich. Ziel ist es daher die Anbauqualität und die stoffaustragsmindernden Effekte der ZwFr zu steigern.
- Über die gesetzlich notwendigen Vorgaben hinaus, wurden fachliche Empfehlungen für eine präzise N_{\min} -Beprobung in der Fläche genutzt (N18). Vor allem an Teilflächen angepasste Beprobungs-raster gaben einen flächentreuen Aufschluss über die N_{\min} -Versorgung des Bodens. Eine weitere Ausdehnung ist zukünftig nicht mehr angezeigt.

- Extensive Fruchtfolgen (N19) werden von den Betrieben vor allem auf leichten und ertragsunsicheren Standorten nachgefragt und genutzt. Infolge klimatischer Veränderungen wird diese Maßnahme zukünftig voraussichtlich vor allem in den nordsächsischen Regionen verstärkt aufgegriffen.

Erläuterungen zum Umsetzungsstand der P-Maßnahmen

Die Befragungsergebnisse halten den bereits vor der Beratung sehr hohen Umsetzungsstand erosionsreduzierender Maßnahmen fest.

- 90% der befragten Flächen werden konservierend mit Mulchsaatsystemen bearbeitet. Auf den wenigen Flächen, auf denen eine konventionelle Bodenbearbeitung erfolgt, wird nur periodisch einmal im Rahmen der Fruchtfolge mit dem Pflug gewendet. Unter der Annahme einer standorttypischen fünfgliedrigen Fruchtfolge, werden etwa 10 % der befragten Fläche gepflügt. Trotzdem ergeben sich hier zukünftige Verbesserungsmöglichkeiten mit Blick auf den Bodenabtrag. Verfahren und Fruchtfolgen sollten weiter mit den Betrieben erprobt und wirtschaftlich ausgewertet werden. Die Gründe für den Pflugeinsatz sind:

- Einige Betriebe setzen den Pflug nach der Körnermaisernte ein, um gute Saatbedingungen zu schaffen und das Risiko eines Fusarienbefalls für den nachfolgenden Weizen zu reduzieren. Dieses Risiko wird durch die angedachte Herabsetzung der zugelassenen Grenzwerte für Deoxynivalenol (DON) weiter erhöht werden (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2024).
- Nach einer späten Rübenernte ist der Oberboden durch die einsetzenden Herbstniederschläge häufig nicht bearbeitbar. Der Unterboden hingegen ist noch nicht wassergesättigt und bearbeitbar. Durch das Wenden des Bodens wird der trockene Unterboden auf die Oberfläche gelegt und die Aussaat kann erfolgen. Verschmierungen im Bereich des Saatbetts werden vermieden.
- Mit Reduktion bzw. Verzicht auf chemisch-synthetischen Pflanzenschutz steigt in der Regel die Intensität der Bodenbearbeitung und damit auch die Einsatzhäufigkeit des Pfluges.
- Die Begrünung der Fahrspur (PA2) wurde in der Beratung vorangetrieben und der Umsetzungsstand erhöht. Bei guter technischer Ausstattung sollte die Maßnahme bei Raps und Weizen im sächsischen Lößhügelland obligatorisch angewendet werden.
- Ob regelmäßige Kalkung (PA5), optimale Strohverteilung (PA6) oder optimierte Einstellung der Bodenbearbeitungsgeräte (PA4) – die befragten Betriebe achten auf grundlegende Stützpfiler der konservierenden Bodenbearbeitung.

Wichtig hervorzuheben ist, dass bereits vor der Beratung die befragten Flächen konservierend bearbeitet wurden und eine Steigerung des Umsetzungsstandes daher nicht mehr möglich war. Insofern wurden die Weiterqualifizierung der konservierenden Bodenbearbeitung durch höhere Mulchauflagen als auch der Einsatz innovativer Bearbeitungssysteme wie die Streifen- oder Direktsaat thematisiert. Oftmals waren jedoch die technischen Voraussetzungen nicht gegeben und der Verfahrenssicherheit des etablierten Systems wurde eine höhere Bedeutung beigemessen. Kalamitäten und einem guten Pflanzenaufgang wurden durch eine intensivere Bodenbearbeitung präventiv Rechnung getragen. Zukünftig stellt sich für die Beratung die Frage nach der optimalen Ausgestaltung der Bodenbearbeitung, um Bodenverluste durch Erosion weiter zu mindern und gleichzeitig eine hohe Verfahrenssicherheit neuer Systeme zu gewährleisten. Pionierleistungen auf Ebene der extensiven Bodenbearbeitung sind bis dato anerkannt, die Betriebe folgen aber noch nicht in der Breite. Die Frage nach dem ökologisch optimalen und ökonomisch umsetzbaren Weg stellt sich und ist in weiteren Versuchen zu ergründen. Sonstige Maßnahmen stellen weitere wichtige Ansatzpunkte zum Erosionsschutz dar und sollten zum Beispiel durch die verbreitete Begrünung von Hangrinnen Anwendung finden. Hier gilt es gerade für die Sommerungen ein unterschätztes aber mit Erosionsmodellen belegbares Potential zu heben. In der Beratung konnte die einfache Umsetzung mehrfach demonstriert werden.

Tabelle 11: Befragungsergebnisse zur Umsetzung von stoffaustragsmindernden N-Maßnahmen

Nr.	Beschreibung der N-Maßnahme	Fläche vor der Beratung [ha]	Fläche nach Beratung [ha]	Änderung [%]
N1	Berücksichtigung der gewachsenen Biomasse bzw. N-Aufnahme bei Raps zur DBE im Frühjahr	1.229	2.322	89 %
N2	Operative DBE im Getreide zur 2. und 3. Gabe mithilfe von Nitratschnelltests/N-Testern	3.407	3.117	- 9 %
N3	Berücksichtigung der N-Nachlieferung auf tiefgründigen, langjährig organisch gedüngten Flächen zu Mais und Zuckerrüben	2.572	4.647	81 %
N4	Anrechnung der aufgenommenen N-Menge von ZwFr-Beständen bei der DBE zu Mais und Zuckerrüben	795	1.921	142 %
N5	Fruchtartspezifische Einschätzung der N-Ausnutzung aus flüssigen organischen Düngern	2.160	3.683	71 %
N6	Optimierung der Düngerstreuereinstellung mittels Messsystem zur präzisen Ausbringung der Düngemittel über die gesamte Arbeitsbreite	16.311	21.281	30 %
N7	Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren zur Reduktion von N-Austrägen beim Einsatz flüssiger organischer Dünger	1.611	1.679	4 %
N8	Strip-Till-Verfahren für eine stoffaustragsmindernde Bewirtschaftung durch platzierte Düngung beim Mais	212	443	109 %
N9	Optimale Versorgung mit Grundnährstoffen als Voraussetzung für eine hohe N-Ausnutzung	17.254	18.799	9 %
N10	Einsatz von Ureaseinhibitoren in Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung bei Weizen und Körnermais	0	88	-
N11	Organische Düngung von Getreidebeständen im Frühjahr zur effizienten Nährstoffausnutzung	1.138	3.851	238 %
N12	Teilflächenspezifische Grunddüngung als Reaktion auf unterschiedliche N-Entzüge in Bereichen mit unterschiedlich hohem Ertragspotential	11.321	12.729	12 %
N13	Berücksichtigung von Ertragszonen mit starkem N-Nachlieferungspotenzial	1.596	2.175	36 %
N14	Berücksichtigung von stabilen Ertragszonen	2.187	2.884	32 %
N15	Teilflächenspezifische Erfassung des aktuellen N-Ernährungszustandes bzw. der Pflanzenbiomasse mithilfe von Sensoren oder Satellitenkarten beim Raps und Getreide	3.383	5.405	60 %
N16	Anbau von ZwFr	4.797	5.056	5 %
N17	Organische Düngung im Grünland	2.237	2.305	3 %

N18	N _{min} -Beprobung über die gesetzlichen Vorgaben hinaus (60-90 cm nach nachlieferungsstarken Kulturen; Berücksichtigung von Bodenunterschieden)	14.375	16.449	14 %
N19	Integration extensiver Fruchtarten in betriebliche Fruchtfolge (z. B. Futterweizen, Roggen, Hafer)	5.844	5.946	2 %

Befragte Betriebe: 65; bewirtschaftete Ackerfläche im Nitratgebiet nach SächsDüReVO vom 03.12.2018: 29.153 ha; Stand der Befragungen: 30.06.2023

Tabelle 12: Befragungsergebnisse zur Umsetzung von stoffaustragsmindernden P-Maßnahmen

Nr.	Beschreibung der P-Maßnahme	Fläche vor Beratung [ha]	Fläche nach Beratung [ha]	Änderung [ha]
PA1	Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung	1.710	1.710	0
PA2	Begrünung von Fahrspuren	0	251	+ 251 ha
PA4	Optimierte Einstellung der Bodenbearbeitungsgeräte	3.612	3.612	0
PA5	Regelmäßige Kalkung	3.301	3.301	0
PA6	Optimale Strohverteilung auf der Fläche	3.991	3.991	0
PM1	Umfang Maisanbau	775	775	
PM2	ZwFr-Anbau vor Maissaat	645	645	0
PM4	Konservierende Bodenbearbeitung mit Saatbettbereitung zu Mais	595	483	- 112 ha
PM5	Konservierende Bodenbearbeitung ohne Saatbettbereitung zu Mais	149	149	0
PM6	Strip-Till zu Mais	31	143	+ 112 ha
PK2	Konservierende Bodenbearbeitung zu Kartoffeln	30	30	0
PK3	ZwFr-Anbau vor Kartoffelsaat	30	30	0
PK4	Hanglängenunterbrechung zu Kartoffeln	15	15	0
PW1	Umfang Rapsanbau	727	727	
PW2	Konservierende Bodenbearbeitung zu Winterraps	707	703	- 4 ha
PW3	Strip-Till zu Winterraps	20	20	0
PW4	Direktsaat zu Winterraps	0	4	+ 4 ha
PZR1	Umfang Zuckerrübenanbau	329	329	
PZR2	ZwFr-Anbau vor Zuckerrübensaar	163	163	0
PZR3	Konservierende Bodenbearbeitung mit Saatbettbereitung zu Zuckerrüben	329	319	-10 ha
PZR4	Konservierende Bodenbearbeitung ohne Saatbettbereitung zu Zuckerrüben	0	5	+ 5 ha
PZR6	Direktsaat zu Zuckerrüben	0	5	+ 5 ha
PZF4	Grubbersaat zum ZwFr-Anbau	131	131	0
PZF5	Mulchsaat mit flacher Lockerung zum ZwFr-Anbau	164	164	0
PZF6	Mulchsaat mit tiefer Lockerung zum ZwFr-Anbau	543	543	0
PS3	Gewässerrandstreifen	Umsetzung weit verbreitet; Quantifizierung der Flächenanteile schwierig		

Die Befragungen fanden in 8 prioritär P-belasteten Oberflächenwasserkörper nach WRRL statt;

Stand der Befragungen: 30.06.2023

4.4 Hindernisse und gesetzliche Widersprüche

Eine fundierte Wirkungsanalyse der beratenen effizienzsteigernden N-Maßnahmen zu erstellen ist, wie bereits skizziert, äußerst komplex. Neben den fachlichen Anforderungen kam es durch die Novellierung der DüV im Jahr 2020 zu einer Veränderung der Wirkung einzelner Maßnahmen, weil restriktivere Vorgaben sich auf deren Umsetzung auswirkten. Sperrfristen wurden erweitert; die gesamte N-Düngung in Abhängigkeit vom zu errechneten N-Bedarf durch die Kürzung um 20 % im Nitratgebiet stärker reglementiert; Kulturen, welche einen N-Bedarf für die Herbstdüngung haben, stärker selektiert; der im Herbst ausgebrachte N musste in der Bedarfsberechnung im Frühjahr Anrechnung finden und nicht zuletzt wurde die N-Applikationen auf gefrorenen Boden komplett verboten.

Grundlegend wirkte sich die N-Mengenreduzierung durch die pauschale, ob nun flächentreue oder fruchtartelastische Kürzung um 20 % auf das Einsparpotential einzelner effizienzsteigernder Maßnahmen aus. Operative Verfahren in der Bedarfsbestimmung während der Vegetation mittels manuellen Schnelltestmethoden oder sensorgebundenen Systemen verloren mit der Novellierung vor allem für Mineraldüngerbetriebe ihre Vorzüglichkeit, insofern deren Einsparpotential sich minderte. Düngestrategien unterhalb des errechneten Bedarfs (-20 % Regel im Nitratgebiet) wiesen oft höhere Gabenempfehlungen durch Schnelltestsysteme (Nitratschnelltest bzw. N-Tester) auf, als es gesetzlich konform wäre zu düngen. Höhere Qualitätsgaben im Weizen zur Erzeugung von Partien der Qualitätsstufe A oder E verloren an Attraktivität, zumal der Fokus unter den neuen Vorgaben hauptsächlich in der Absicherung des standortüblichen Ertragspotentials lag. Fruchtartelastische Umverteilungen ermöglichten zwar eine gewisse Kompensation der Einsparungen für die bedürftigen Kulturen, wie Weizen und Raps, bedingten aber auch eine höhere Reduzierung der Düngermengen zu den anderen Kulturen. Demnach mussten die bereits geringen N-Überhänge von Mais und Rübe weiter reduziert werden, um Kulturen mit einem höheren N-Anspruch durch Umschichtung innerhalb der Nitratgebietsflächen genügend N für deren optimale Entwicklung bereitstellen zu können. Folglich reduzierte sich vor allem auf tiefgründigen Flächen deren Nachlieferungspotential für die nachfolgend angebauten und eher N bedürftigen Kulturen. Eine weitere Kürzung des N-Bedarfs stellte mit der Novellierung die Pflicht zur Anrechnung der im Herbst ausgebrachten verfügbaren N-Mengen ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, Carbamid-N) dar. Mit ihr wurden bei Nutzung von organischen Düngern der Ammonium-N und bei mineralischem Dünger der Gesamt-N vom im Frühjahr errechneten Bedarf abgezogen. Rapsbiomasse, welche sich durch ein reichliches N-Dargebot bis zum Winter entwickelte und entsprechende Nährstoffmengen aufnahm, wurde da durch bereits in die Planung implementiert. Das bisherige System der biomasseabhängigen Rapsdüngung wurde durch die gesetzlich vorgeschriebene Anrechnung verändert, denn einzig über die N-Düngung im Herbst gedüngten N-Mengen hinausgehende N-Aufnahme führte ab dem Zeitpunkt der Novellierung zu Einspareffekten im Frühjahr. Zum Beispiel: wenn im Herbst zu Raps 30 kg N/ha mineralisch gedüngt

werden, müssen diese 30 kg N/ha von den im Frühjahr zu düngenden Mengen abgezogen werden. Hat der Raps durch diese Düngung 2 kg FM/m² vor Winter gebildet und so 100 kg N/ha in der oberirdischen Blattmasse gespeichert, führt dies anpassungsbedingt zu N-Einsparungen nach BESyD von 10 kg N/ha. Vor der Änderung der DüV konnten 40 kg N/ha eingespart werden. Die Maßnahme »biomasseabhängige Rapsdüngung« verlor also im beschriebenen Fall 30 kg N/ha an Wirkung.

Weiterhin führte die stärkere Anrechnung zu einer geringeren Bereitschaft zur Aufnahme betriebsfremder organischer Dünger, weil es nun zwingend erforderlich war, die Nährstoffe in der Blattbiomasse zu binden. Kalamitäten wie Frostereignisse, massives Insektenaufkommen oder aber Krankheiten, welchen den Wuchs der Pflanzen vor Winter hemmten, konnten keine Berücksichtigung in der Mengenberechnung im Frühjahr mehr finden. ZwFr, welche mit der Novellierung die einzig weitere Möglichkeit zur Ausbringung von organischen Düngern im Herbst auf Ackerland darstellten, mussten nach der Applikation im Nitratgebiet genutzt werden. Standardübliche abfrierende ZwFr-Mischungen konnten fortan keine Düngung mehr erfahren. Neben der damit verschlechterten Funktionalität der ZwFr (Bodenbedeckung, Beikrautunterdrückung, Nährstoffaufnahme) resultierte hieraus ein geringeres Einsatzpotential der Nährstoffe und ein flächenmäßig größerer einjähriger Ackerfutterbau durch Biomasseroggen oder Ackergras. Konsequenz war damit auch ein verstärktes Interesse nach Zweitfruchtmais, welcher nach dem Ackerfutter angebaut wurde. Aufgrund seiner hohen trockenheitsbedingten Ertragsvariabilität ist die Gefahr einer schlechten Nährstoffverwertung und damit verbundener Nitratausträge recht hoch. Weitere Anpassungserfordernisse stellten im Bereich der organischen Herbstdüngung die erweiterten Sperrzeiten und die Verringerung der möglichen zu applizierenden späten N-Mengen fürs Grünland dar.

Allgemein wurden Optionen für eine spätere Applikation organischer Dünger genommen, welche fachlich neben den zuvor genannten Hinweisen zu unterstützen sind. Z. B. zeigen jüngste Untersuchungen ein sehr hohes Nitrataustragspotential bei einer flüssigen organischen Düngung zu Getreide vor der Saat im Herbst. Diesen potentiellen Verlusten wurde durch das Anwendungsverbot im Nitratgebiet nachgekommen und der Anspruch an eine gute Nährstoffverwertung gelöst. Gleichwohl führt der fehlende Handlungsspielraum zu einem größeren Lagerkapazitätsanspruch. Zwingend erforderlich sind hierfür Einrichtungen, wie Güllebehälter und Dungplätze zur ordnungsgemäßen Lagerung. Deren Neu-einrichtung unterlag weiteren behördlichen Auflagen wie dem Bau- und Naturschutzrecht, wodurch die Realisierung erschwert bzw. teilweise in Frage gestellt wurde. Bei Vorhandensein entsprechender Lageroptionen wurde die Kapazität, wie beschrieben, über Winter ausgeschöpft und die landwirtschaftlichen Unternehmen waren gesetzlich bestimmt in die Lage versetzt, vor allem die flüssigen organischen Dünger im Frühjahr auszubringen. Das Ausbringverbot auf oberflächlich gefrorenen Boden konterkarierte aber das fachlich unterstützenswerte Reglement und ein fachgerechter Einsatz der Nährstoffe im

Frühjahr wurde erschwert. Hohe Bodenfeuchten zum optimalen Zeitpunkt der Düngung im sächsischen Tiefland im Februar bzw. im Gebirge im März schränken eine bodenschonende Befahrbarkeit der Flächen ein. Moderne, große und zukunftstaugliche Ausbringsysteme für die flüssige organische Düngung wiegen im befüllten Zustand oft mehr als 40 t. Ob im Regelspursystem mit großen Arbeitsbreiten (24-36 m) oder aber im Hundegang mit schmaleren Arbeitsbreiten (6-15 m) und einer flächigeren Überrollung genutzt, verdichten die Radlasten der Systeme unter feuchten Bodenbedingungen diesen vor allem auf lehmig tonigen Flächen plastisch. Entstehende tiefgreifende Plattengefüge reduzieren die Durchwurzelung und damit auch die standorttypische Entwicklung der angebauten Kulturarten über Jahre hinweg. Potentielle Ertragsdepressionen und eine technologisch nicht umsetzbare Anwendung (Festfahren der Ausbringsysteme auf den Flächen) verhindern die Ausbringung der flüssigen organischen Dünger im zeitigen Frühjahr auf Getreideflächen. In der Beratung ergab sich dadurch ein Paradoxon, dass zwar die gute pflanzenbauliche Wirkung der organischen Dünger beschrieben wurde, aber deren realistischer Einsatz von den Unternehmen nicht umgesetzt werden konnte. Die in der Tierhaltung kontinuierlich anfallenden Nährstoffmengen mussten folglich im Frühjahr zusätzlich zu den überjährig gelagerten Düngern trotz gesetzlich bedingter Einschränkung der potentiellen Ausbringflächen bedarfsgerecht appliziert werden. Die gezeigten hohen N-Nachlieferungen aus dem Boden zu Mais, wiesen aber deutlich auf dessen Einsparpotential und somit auf einen ökonomisch und ökologisch sinnvollen Einsatz zum Getreide hin. Mais reagiert aber sehr elastisch und ertragsneutral auf das Düngedargebot. Weder geringe als auch hohe Düngermengen führen zu größeren Ertragsschwankungen. Große sich durch restriktivere Ausbringungseinschränkende Vorgaben aufbauende Lagermengen, führten teilweise zu einer über der fachlichen Empfehlung liegenden Maisdüngung, um den Produktionsprozess gewährleisten zu können. Eine Neujustierung seitens des Gesetzgebers ist daher an dieser Stelle zwingend angezeigt, in dem die Ausbringung auf oberflächlich gefrorenen und im Tagesverlauf wieder auftauenden Boden wieder ermöglicht wird und Getreideflächen umfangreicher mit flüssigen organischen Düngern bedacht werden können. Weiter bestehende Einschränkungen auf stark geneigten Flächen nach den $K_{\text{Wasser}2}$ -Kulissen (SMEKUL, 2024) bieten eine fundierte Kompromissgrundlage, da nur auf diesen realistisch von einem Nährstoffabtrag auf gefrorenen und bewachsenen Boden auszugehen ist.

Erschwerend für die Betriebe war ferner die aufgrund ihrer Komplexität schwer erklärbare Neuausweisung der sächsischen Nitratgebiete. Geschwächt wurde dadurch die Akzeptanz gegenüber der fachlichen Grundlage und den zusätzlichen Auflagen. Eine kontinuierliche Arbeit durch eine angepasste Fruchtfolge und Düngplanung war in den Jahren der Neujustierung nicht möglich bzw. waren bereits gefundene Lösungen persönlich demotivierend und ökonomisch sinnvoll nicht mehr anwendbar.

5 Fazit

Von 2019 bis 2023 wurde die Umsetzung der WRRL in Sachsen im Bereich Landwirtschaft, basierend auf dem kooperativen Ansatz, sehr vielfältig von allen Beteiligten gelebt. Die Einführung der einzelbetrieblichen Beratung als Kernelement des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes hat sich als erfolgreich, aber auch sehr herausfordernd erwiesen. Eine Weiterführung des Erfolges setzt eine anhaltende Betreuung- und Begleitungsintensität der Betriebe voraus. Den mitwirkenden Landwirtschaftsbetrieben ist an dieser Stelle ein ausdrücklicher Dank auszusprechen.

Im Fokus standen die Umsetzung standort- und betriebsangepasster Bewirtschaftungsverfahren, um Nitratausträge in das Grundwasser und P-Einträge in Oberflächengewässer zu mindern. Dabei galt es die Lebensmittelproduktion in Einklang mit ökologischen und gesetzlichen Anforderungen zu bringen und parallel die ökonomischen Notwendigkeiten der Betriebe in angemessenem Umfang zu berücksichtigen. Die beratenen Maßnahmen wurden in Felddemonstrationen hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit und Wirksamkeit erprobt. Ergänzend wurden Fragestellungen eines optimalen Nährstoffeinsatzes, unter restriktiveren Düngevorgaben und veränderten klimatischen Bedingungen, in Parzellenversuchen bearbeitet.

Die Beratung lieferte sachsenweit wichtige Erfahrungen zur dauerhaften Etablierung stoffaustragsmindernder Maßnahmen in der Landwirtschaftspraxis. Diese dienen künftig dazu, noch präzisere Empfehlungen für die verschiedenen Ackerbaustandorte und Betriebsformen in Sachsen geben zu können. Gesetzliche Veränderungen durch die Novellierung der DüV im Jahr 2020, bedingten einen aufwändigen Anpassungsprozess in den Betrieben. Durch eine vertrauensvolle und langfristige Zusammenarbeit gelang es die betriebsspezifischen Herausforderungen, als Folge der veränderten düngerechtlichen Bedingungen, anzugehen.

Im Bereich der Stickstoffdüngung galt es den Einsatz der organischen Dünger gezielter, unter Berücksichtigung der Nährstoffwirkung und -freisetzung, zu gestalten. Zentral war aber auch eine realistische DBE durch eine präzise N_{\min} -Beprobung sowie die Berücksichtigung der gewachsenen Biomasse und Nährstoffaufnahme von Raps und ZwFr. Der effiziente Nährstoffeinsatz wurde durch Schnelltests und Verwendung von sensor- und satellitengestützten Verfahren begleitet. Dort wo die technische Umsetzbarkeit gegeben war, wurde die teilflächenspezifische Bewirtschaftung präzisiert. Die Grundnährstoffversorgung wurde bewertet und die Wirkung von P-, K-, und Mg-haltigen Düngern erörtert, um zusätzliche Optimierungspotentiale bei der N-Effizienz zu heben.

Extensive Bodenbearbeitungsverfahren stellen für die Reduzierung des erosionsbedingten P-Austrages einen wichtigen Lösungsansatz dar. Allerdings sind diese im pflanzenbaulichen, pflanzenschutzrechtlichen und betriebswirtschaftlichen Kontext zu bewerten. Bodenabtragsmessungen zeigten eindrücklich

die positive Wirkung einer reduzierten Bearbeitungsintensität mit modernen Strip-Till-Verfahren. Wichtiges Ziel ist der Erhalt der Mulchauflagen aus dem ZwFr-Anbau. Intensiver betrachtet wurden vor allem jene Kulturen, bei denen das Erosionsrisiko und der Anbauumfang am höchsten ist. Hierzu zählen vornehmlich Mais, Zuckerrüben und Winterraps. Die Begrünung von Hangrinnen wurde durch Nutzung moderner teilflächenspezifischer Techniken erprobt und für interessierte Betriebe beschrieben. Durch Modellierungen mit E3D konnten für die Betriebe wirksame Erosionsschutzmaßnahmen mit hoher Akzeptanz erarbeitet werden.

Die hohe Anzahl der beratenen Betriebe spricht für ein reges Interesse der angebotenen Maßnahmenpakete. Neben Demonstrationen und Beratungen, wurden zahlreiche Workshops und Feldtage durchgeführt. Ergebnisse, Aktivitäten und Teilnahmemöglichkeiten wurden durch regelmäßige Rundbriefe³, Artikel in der Fachpresse und Blogbeiträge im Internet aufgezeigt.

Das Zusammenspiel zwischen Demonstrationen, mit Felduntersuchungen unternommenen Beratungen, Veröffentlichungen und Veranstaltungen schuf Synergien, wovon jeder einzelne Baustein profitierte. Mit den fundierten Ergebnissen aus den Demonstrationen konnte eine fachlich qualifizierte Beratung, fußend auf aktuellen regionalspezifischen Erkenntnissen, realisiert werden. Der mit den zahlreichen Veröffentlichungen anwachsende Bekanntheitsgrad, half zunehmend in der Beratungstätigkeit. Positives Feedback zwischen den Betrieben verstärkte den Effekt weiter. Wirksam wurde dabei, der aus der Psychologie bekannte »Mere-Exposure-Effekt«, wonach ein stetiger Kontakt zu einem Thema dazu führt, dass dieses als vertraut und positiv wahrgenommen wird. Jeder einzelne Baustein des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes wirkte fördernd für die Maßnahmenumsetzung. Die Beratungsleistung und ihre Wirksamkeit separat betrachten zu wollen, wird dem Gesamtpaket nicht gerecht.

Zukünftig gilt es die gewonnenen Erfahrungen, Kontakte und Ergebnisse zu nutzen, um der Verbesserung der Gewässerqualität weiter gerecht zu werden. Durch die naturräumlichen Gegebenheiten und klimatischen Veränderungen ist dies eine langfristige Herausforderung, die nur in Kooperation mit allen Beteiligten erfolgreich umgesetzt werden kann. Künftig sollte verstärkt Wert gelegt werden auf:

³ [Link zu den Rundbriefen \(https://agumenda.de/landwirtschaftlicher-gewaesserschutz/rundbriefe/\)](https://agumenda.de/landwirtschaftlicher-gewaesserschutz/rundbriefe/)

- die breite Umsetzung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung auf Grundlage von fachlich fundierten Ertragspotentialkarten,
- einen angepassten Nährstoffeinsatz, insbesondere von organischen Düngern, auf auswaschungsgefährdeten Standorten zu allen Kulturen,
- die Optimierung der Grundnährstoffversorgung durch gezielte Zufuhr von Mineraldüngern oder betriebsfremder organischer Dünger,
- die Begrünung der Hangrinnen in den Hauptsedimentationslinien und
- den Einsatz von Strip-Till-Systemen zu den Kulturen Mais, Zuckerrüben, Winterraps und Getreide.

Für die weitere erfolgsversprechende Arbeit zum landwirtschaftlichen Gewässerschutz bedarf es einer langfristig ausgestalteten Zusammenarbeit. Kontinuierliche gesetzliche Rahmenbedingungen sowie praxisrelevante Anreizsysteme für eine gewässerschonende Landbewirtschaftung können die Kooperation zusätzlich stärken.

Literaturverzeichnis

- ALBERT, E., GRUNERT, M. (2013): Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertrag, Humusgehalt, N-Bilanz und Nährstoffgehalte des Bodens. In: Archives of Agronomy and Soil Science, Jahrgang 59, Heft 8, S. 1073–1098
- BARKUSKY, D., BAUMECKER, M., CHMIELEWSKI, F. M., ELLMER, F., von GAGERN, W., HIEROLD, W., KÄDING, H., KÖHN, W., RÜHLMANN, J. & ZIMMER, J. (2009): Dauerfeldversuche in Brandenburg und Berlin. Beiträge für eine nachhaltige landwirtschaftliche Bodennutzung. Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Reihe Landwirtschaft, Band 10, Heft 4/2009
- BAUER, B. (2012): Mit der N-Düngung die Bestockung steuern. In: top agrar, Heft 2, S. 74–77
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2024): Ährenfusariosen in Weizen. Merkblatt der LfL, 13. veränderte Auflage, <https://www.lfl.bayern.de/publikationen/merkblaetter/040641/index.php>, 20.08.2024
- DIESER, M., ZIESENIB, S., MIELENZ, H., MÜLLER, K., GREEF, J.-M. & STEVER-SCHOO, B. (2023): Nitrate leaching potential from arable land in Germany: Identifying most relevant factors. In: Journal of Environmental Management, Heft 345, Artikel 118664
- DüV (2020): Internetpublikation - Verordnung zur Änderung der Düngeverordnung und anderer Vorschriften vom 28. April 2020. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 20, S. 846-861, www.bundesanzeiger-verlag.de, 15.02.2024

- FRIELINGHAUS, M. et al. (2002): Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern: Bodenschutz. Broschüre des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 2. Auflage
- GENTSCH, N., HEUERMANN, D., BOY, J., SCHIERDING, S., von WIRÉN, N., SCHWENEKER, D., FEUERSTEIN, U., GUGGENBERGER, G. (2021): Soil nitrogen and water management by winter-killed catch crops. In: SOIL, Jahrgang 8, Heft 1, S. 269-281.
- GRAMLICH, A., STOLL, S., ALDRICH, A., STAMM, C., WALTER, T., PRASUHN, V. (2018): Einflüsse landwirtschaftlicher Drainage auf den Wasserhaushalt, auf Nährstoffflüsse und Schadstoffaustrag – eine Literaturstudie. In: Agroscope Science, Heft 73, S. 1-53
- GRUNERT, M., 2015: Internetpublikation - Der Dauerdüngungsversuch L28 Aufbau, Anlage und Ergebnisse zur Nährstoffeffizienz in Methau und Spröda.
<https://www.landwirtschaft.sachsen.de/50-jahre-dauerversuche-l28-in-methau-sproeda-bad-salzung-18642.html>, 15.02.2024
- GRUNERT, M. (2021): Internetpublikation - Anwendung des Nitrat-Schnelltests bei Wintergetreide.
<https://www.landwirtschaft.sachsen.de/fachliche-hinweise-45263.html>, 20.08.2024
- GRUNERT, M., BÖRKE, P., GROßNER, K., IHLING, H., JÄCKEL, U., JÄKEL, K., KELLY-BEUTHNER, F., MÜLLER, P., RIEHL, G., SACHER, M., SCHMIDT, W.-A., STAHN, P. & WERISCH, S. (2023): Internetpublikation - Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Nitrataustragsminderung.
https://www.landwirtschaft.sachsen.de/Massnahmen_Nitrat-60556-60556.html, 15.02.2024
- HERBST, F., GANS, W. & MERBACH, W. (2006): Einfluss eines Urease-Inhibitors bei Harnstoff-Düngung auf den Stickstoff-Umsatz im Boden, die Ammoniak-Verflüchtigung und die Verwertung des Stickstoffs durch Hafer. In: Pflanzenbauwissenschaften, Jahrgang 10, Heft 1, S. 37–43
- MALLAST, J., STICHNOTHE, H., KREUTER, T., THIEL, E., POMMER, C., DÖHLER, J., EISSNER, F., KÜHLING, I., RÜCKNAGEL, J., PAMPERIN, H., AUGUSTIN, J., HOFFMANN, M., SIMON, A., HÜLSBERGEN, K.-J., MAIDL, F.-X., TAUCHNITZ, N., BISCHOFF, J. & BÖTTCHER, F. (2022): A three-year data set of gaseous field emissions from crop sequence at three sites in Germany. In: Scientific Data, Jahrgang 9, Artikel 415
- MALLON, A., FRIESE, H. (2023): Internetpublikation - Minderung von Phosphoreinträgen in Gewässer. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie,
<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/42777>, 15.02.2024
- MÜLLER, P., SCHLIEPHAKE, D. W., GLÄSER, H., SEIDEL, D. N. (2019): Internetpublikation - Landwirtschaftlicher Gewässerschutz Ergebnisse Wissenstransfer 2016-2018. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie,
https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/2018_Bericht_AK_WRRRL_2016-18.pdf, 15.02.2024

- PFORTE, F. (2010): Internetpublikation - Entwicklung eines Online-Messverfahrens zur Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades bei der Stoppelbearbeitung zu Mulchsaatverfahren. <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/2010081334014#>, 15.02.2024
- SCHLIEPHAKE, W. (2011): Teilflächendüngung auf trockenen Standorten. Schriftenreihe des LfULG, Heft 17/2011, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14945>, 15.02.2024
- SCHLIEPHAKE, W., ALBERT, E. (2003): Vermeidung von Stickstoffverlusten. Schriftenreihe des LfULG, Heft 9/2003, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14037>, 15.02.2024
- SCHWEITZER, K., KROSCHEWSKI, B., BAUMECKER, M. (2017): Wirkung der Phosphor-Düngung auf den pflanzenverfügbaren P-Gehalt im Boden und den Ertrag. Ermittelt in Dauerfeldversuchen auf trockenen Sandböden. In: VDLUFA-Schriftenreihe, Nummer 74, S. 109-118
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Eugen Ulmer Verlag
- SELING, K., HENKE, J., SAUERMAN, W., KAGE, H. (2009): Optimierung der N-Düngung durch Berücksichtigung der N-Menge im Bestand. In: Raps, Jahrgang 27, Heft 4, S. 195-199
- SMEKUL (2024): Konditionalität 2024: Informationen über die einzuhaltenden anderweitigen Verpflichtungen. Sächsisches Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL), <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11464>, 30.04.2024
- TASTOWE, F. (2020): Internetpublikation - Test: Radarsensoren sollen Querverteilung bei Düngerstreuern verbessern. <https://www.topagrar.com/technik/news/test-radarsensoren-sollen-querverteilung-bei-duengerstreuern-verbessern-11987151.html>, 15.02.2024
- TAUCHNITZ, N., SCHRÖDTER, M., STEFFENS, R., WURBS, D., STEININGER, M., REINICKE, F. (2022): Stickstoff- und Kohlenstoff-Monitoring im Grundwasserkörper SAL GW 014: Konzept zum Umgang mit Nährstoffeinträgen in die Gewässer Sachsen-Anhalts (Nährstoffkonzept 2015-2021). Schriftenreihe der LLG, Heft 1/2022, Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, <https://llg.sachsen-anhalt.de/llg/service/publikationen/schriftenreihe-der-llg>, 15.02.2024
- THEIß, M., SCHLIEPHAKE, W. (2020a): Aussage von N_{\min} -Untersuchungen im Frühjahr. Broschüre des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 1. Auflage
- THEIß, M., SCHLIEPHAKE, W. (2020b): Aussage von N_{\min} -Untersuchungen nach der Ernte. Broschüre des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 1. Auflage
- WEIHRACH, C. (2018): Phosphor-Dynamiken in Böden: Grundlagen, Konzepte und Untersuchungen zur räumlichen Verteilung des Nährstoffs. Springer-Verlag

- WINNIGE, B., CORZELIUS, U. & FRIELINGHAUS, M. (1998): Indikation der aktuellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der Bodenbedeckung. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Heft 88, S. 569–572
- XIAO, L., KUHN, N. J., ZHAO, R. & CAO, L. (2021): Net effects of conservation agriculture principles on sustainable land use: A synthesis. In: Global Change Biology, Jahrgang 27, Heft 24, S. 6321–6330
- ZORN, W., SCHRÖTER, H. (2019): Auswirkungen der Phosphordüngung auf die Stickstoff-Effizienz. In: Weiterbildung zum Stickstoff-Management in Landwirtschaftsbetrieben, Vortragsreihe am 07.03.2019

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
(LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: + 49 351 2612-0

Telefax: + 49 351 2612-1099

E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Autor:

AgUmenda GmbH

Naumburger Str. 48; 04229 Leipzig

Telefon: + 49 15229316577

E-Mail: info@agumenda.de

Redaktion:

Silke Peschke

Abteilung 7/Stabsstelle Koordinierung Landwirtschaft

Waldheimer Str. 219; 01683 Nossen

Telefon: + 49 35242 631-7014

E-Mail: Silke.Peschke@smekul.sachsen.de

Fotos/Titelbild:

AgUmenda GmbH

Redaktionsschluss:

08.10.2024

Bestellservice

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei heruntergeladen werden aus der Publikationsdatenbank des Freistaates Sachsen (<https://publikationen.sachsen.de>).

Hinweis

Diese Publikation wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom LfULG (Geschäftsbereich des SMEKUL) kostenlos herausgegeben.

Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de