



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Leitfaden für Grund- und Oberflächenwasserschutz

Blaues Heft

Stand: 2024



LfL-Information

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau
Lange Point 12, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: Agraroeekologie@LfL.bayern.de
Telefon: 08161 8640-3640

1. Auflage: Juli 2024

Bildnachweis: Bilder soweit nicht anders gekennzeichnet © LfL
© LfL



Leitfaden für Grund- und Oberflächengewässerschutz

**Thomas Corbeck (ALE Oberbayern), Florian Ebertseder,
Klaus Gehring, Dr. Lorenz Hartl, Werner Heller,
Anita Högenauer, Ulrich Kaul (LfU), Katja Krebelder,
Friedrich Nüßlein, Dr. Wolfgang Preißinger,
Dr. Hubert Schuster, Hubert Weidner (LfU),
Dr. Matthias Wendland, Dr. Klaus Wiesinger,
Dr. Peer Urbatzka**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	7
1 Gewässerqualität in Bayern	10
1.1 Nitrat im Grundwasser	10
1.2 Phosphor in den Oberflächengewässern.....	12
1.3 Pflanzenschutzmittel in Grund- und Oberflächengewässern	16
2 Handlungsfelder	17
2.1 Checkliste Grundwasser	18
2.2 Checkliste Oberflächengewässer.....	19
3 Handlungsfeld Pflanzenschutz	20
3.1 Rechtsvorschriften.....	21
3.2 Maßnahmen zur Risikominderung bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln	22
3.2.1 Transport	23
3.2.2 Lagerung.....	24
3.2.3 Vor der Anwendung	26
3.2.4 Bei der Behandlung	30
3.2.5 Nach der Behandlung	39
3.3 Empfehlungen zur Verringerung des Risikopotenzials von Gewässerbelastungen	42
3.3.1 Abschwemmung und Erosion	42
3.3.2 Versickerung und Drainageabfluss	50
4 Handlungsfeld N-Düngung und Grundwasser	57
4.1 Datengrundlagen zur Analyse	57
4.2 Nährstoffkreislauf.....	58
4.3 Düngeplanung	60
4.4 Sortenwahl bei Winterweizen	63
4.5 Korrekturen im Vegetationsverlauf.....	65
4.6 Maßnahmen nach der Ernte.....	71
4.7 Organische Düngung.....	76
4.8 Ausbringtechnik	80
4.9 Lagerkapazität	82

4.10	Ökologischer Landbau	83
5	Handlungsfeld Fütterung	85
5.1	Rinderfütterung	85
5.2	Schweinefütterung.....	91
6	Handlungsfeld Bodenbewirtschaftung und Oberflächengewässer..	103
6.1	Erosion	103
6.2	GAP-Konditionalitäten-Verordnung.....	105
6.3	Ganzjährige Bodenbedeckung.....	106
6.4	Zwischenfruchtanbau und Untersaaten	108
6.5	Fruchtfolge	111
6.6	Konservierende Bodenbearbeitung, Mulch-/Direktsaat/Strip-Till.....	111
6.7	Bodenstruktur, Bodenbearbeitung und Bodenverdichtungen	112
6.8	Hanglänge – Schlagunterteilung	113
6.9	Bearbeitung quer zum Hang.....	114
6.10	Phosphordüngung und Kalkung	115
6.11	Ökologischer Landbau	118
6.12	Flächen mit Drainagen	119
6.13	Begrünte Abflussmulden.....	120
6.14	Gewässerrandstreifen	122
6.15	Strukturelemente zum Nährstoffrückhalt	126
7	Beratung.....	130
8	Kooperationen	133
9	Vermarktung	134
	Anhang	135
	Anhang 1: Gewässerdefinition, Abstandsaufgaben und Gewässerrandstreifen.....	135
	Anhang 2: Rechtliche Vorgaben an Gewässern	135
	Anhang 3: Auffangbecken, Versickerungs- und Begleitmulden, einfach umsetzbare Beispiele	137
	Literaturverzeichnis	139
	Informationen zu Düngung und Nährstoffhaushalt im Internet	143

Vorwort

Wasser ist die Grundlage allen Lebens und prägt unseren „Blauen Planeten“ mit seinen vielen Facetten seit jeher wie nichts anderes. Wir können uns glücklich schätzen, in Bayern über ausreichend Grundwasser in sehr guter Qualität zu verfügen, aus dem Trinkwasser als unser wichtigstes Lebensmittel überwiegend gewonnen wird. Die bayerischen Flüsse, Bäche und Seen sind einzigartige und faszinierende Ökosysteme, die jedes Jahr unzählige Touristen nach Bayern locken. Gleichzeitig kann die Kraft des Wassers gerade in Zeiten des Klimawandels mit zunehmenden regionalen Starkregenereignissen und voranschreitender Flächenversiegelung schwere Schäden verursachen. Die Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Flächen ist ein wichtiger Einflussfaktor, um dem durch Erosionsschutzmaßnahmen vorzubeugen und gleichzeitig unsere Gewässer vor Pflanzenschutzmittel- und Nitratreinträgen zu schützen.

Einen übergeordneten Rahmen zum Schutz unseres Grundwassers und der Oberflächengewässer gibt die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) der Europäischen Union (EU) vor. Die darin formulierten Ziele zur guten Qualität aller Gewässer bis 2027 sind nach derzeitigem Stand auch für Bayern nicht mehr flächendeckend zu erreichen, weil in einzelnen Gebieten die Nährstoff- oder Pflanzenschutzmittelkonzentrationen in den Gewässern zu hoch sind. Düng- und pflanzenschutzrechtliche Vorgaben unterstützen die Zielerreichung, reichen aber nicht immer für einen flächendeckenden Gewässerschutz aus. Daher sind zusätzliche pflanzenbauliche oder gesamtbetriebliche Maßnahmen zur Zielerreichung erforderlich. Die zahlreichen Instrumente zum aktiven Gewässerschutz in der Landwirtschaft erstrecken sich daher über die Düngung und den Pflanzenschutz auf weitere Themenfelder wie Fruchtfolgen, Zwischenfruchtanbau oder die Fütterung der Nutztiere. Dieser Leitfaden für Grund- und Oberflächengewässerschutz soll Landwirten, Beratern und Behörden eine Hilfestellung bei der Auswahl von geeigneten Maßnahmen und der Planung von einzelbetrieblichen Gesamtkonzepten geben. Die Checklisten im Kapitel 2 des Heftes erleichtert das Auffinden betriebsspezifischer Lösungsansätze. Der Leitfaden erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da die Auswahl und Intensität der erforderlichen Maßnahmen von der Betriebsstruktur und der örtlich vorhandenen Gewässerbelastung abhängt. Andererseits können schon einzelne Maßnahmen, die gut in den Betriebsablauf zu integrieren sind, wesentlich zur Verbesserung der Gewässerqualität beitragen. Hierzu gibt der Leitfaden einen ersten Überblick. Bei der Erarbeitung und Umsetzung von Maßnahmen unterstützen die Landwirte verschiedene Beratungsinstitutionen.

Dieser Leitfaden wurde von der Landesanstalt für Landwirtschaft im Forschungsschwerpunkt „Gewässerschonende und nährstoffeffiziente Landwirtschaft“ und unter Mitwirkung des Landesamtes für Umwelt (LfU) erstellt. Ein besonderer Dank gilt Allen, die durch schriftliche Beiträge und konstruktive Diskussionen zum Gelingen beigetragen haben.

Dr. Matthias Wendland

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau

Fachliches Abkürzungsverzeichnis und Definitionen

ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
ADR	Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road
Altlast	Gewässerbelastung mit einem nicht mehr zugelassenen Wirkstoff oder dessen Abbauprodukten (Metaboliten)
AVDüV	Ausführungsverordnung Düngeverordnung
AVV GeA	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten - AVV Gebietsausweisung
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft
Diffuse Quellen	Belastungen von Gewässern über Abdrift, Abschwemmung, Ablauf über Drainagen oder Versickerung
DüV	Düngeverordnung
GGAV	Gefahrgut-Ausnahmeverordnung
GHS	Globally Harmonised System - weltweit einheitliche Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien zu Gefahren für die menschliche Gesundheit und die Umwelt mit normierten Piktogrammen und Gefahrenhinweisen (H- und P-Sätzen)
GNSS	Empfänger für globale Navigationssatellitensysteme
GUS	Groundwater Ubiquity Score – Index für das Versickerungsrisiko von PSM
ISIP	Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion, online: https://www.isip.de
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
MCP	Monocalciumphosphat
MDÄ	Mineraldüngeräquivalent
Metaboliten	Abbauprodukte von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen; in der Gewässerbewertung wird zwischen relevanten und nicht-relevanten Metaboliten unterschieden
N	Stickstoff
N _{min}	Gehalt an mineralischem Stickstoff im Boden
NO ₃ ⁻	Nitrat
nrM	Nicht-revanter Metabolit eines Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffs
P	Phosphor
P ₂ O ₅	Phosphorpentoxid (Phosphat)

PSM	Pflanzenschutzmittel; Präparat, Wirkstoff oder relevanter Metabolit
Punktquellen	PSM-Belastungen von Gewässern durch konzentrierte, kleinräumige Einträge, z. B. bei Befüllen und Reinigen der Spritze oder der fahrlässigen Entsorgung von Restmengen
RAK	regulatorisch akzeptable Konzentration (Hilfskriterium in der Bewertung der Oberflächengewässer)
rM	Relevanter Metabolit eines Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffs
Run-off	Austrag von PSM-Wirkstoffen durch Abschwemmung in wässriger Lösung oder durch Erosion an Partikel gebunden in angrenzende Nicht-Zielflächen oder Oberflächengewässer
SES	Sojaextraktionsschrot
TM	Trockenmasse
TMR	Total-Misch-Ration (Fütterungssystem)
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
UQN	Umweltqualitätsnorm (z. B. Grenzwert für die Belastung mit PSM-Wirkstoffen und relevanten Metaboliten in Oberflächengewässern)
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
XP	Rohprotein

1 Gewässerqualität in Bayern

1.1 Nitrat im Grundwasser

Autor: Hubert Weidner, LfU

Das Trinkwasser in Bayern stammt zu rund 90 % aus Grundwasser. Wasser, das als Trinkwasser verwendet wird, darf auch bei lebenslangem Genuss zu keinerlei gesundheitlichen Schäden beim Menschen führen. Vielmehr soll es zum Wohlbefinden beitragen. Zur Gesundheitsvorsorge schreibt die Trinkwasserverordnung einen Grenzwert für Nitrat (NO_3^-) von 50 mg NO_3^-/l vor. Die Weltgesundheitsorganisation WHO empfiehlt Erwachsenen pro Tag insgesamt, also mit allen Lebensmitteln, nicht mehr als 220 mg Nitrat aufzunehmen. Nitrat selbst ist für den menschlichen Organismus zunächst unbedenklich. Es kann jedoch unter bestimmten Umständen im Körper zum gesundheitlich bedenklichen Nitrit umgewandelt werden. Nitrite können dann chemisch weiter reagieren: Zusammen mit Eiweißbausteinen entstehen im Darm sogenannte Nitrosamine. Diese haben sich in Tierversuchen als krebserregend herausgestellt. Nitrosamine werden hauptsächlich mit der Entstehung von Magenkrebs in Verbindung gebracht. Eine langfristige Aufnahme von größeren Mengen an Nitrat gilt daher als problematisch.

Stickstoff (N) ist der Nährstoff mit dem größten Ertrags- und Qualitätseinfluss und einer der wichtigsten Produktionsfaktoren in der pflanzlichen Erzeugung. Er liegt in Düngemitteln und im Boden in verschiedenen Formen vor. Die Aufnahme durch die Pflanzen erfolgt hauptsächlich als Nitrat. Nitrat ist auch das Endprodukt der vielfältigen Umsetzungsvorgänge von Stickstoffverbindungen im Boden. Der Nachteil: es ist sehr mobil und kann mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser verlagert werden. Das passiert überwiegend dann, wenn die Nährstoffzufuhr durch Düngungsmaßnahmen den aktuellen Pflanzenbedarf übersteigt und in der vegetationslosen Zeit hohe Restmengen im Boden vorhanden sind. Relativ kleine Mengen an ausgewaschenem Stickstoff in Form von Nitrat können bereits zu einer bedeutsamen Verunreinigung des Grundwassers führen. Bei einer Sickerwasserbildung von 200 l/m² und Jahr (beispielsweise im tertiären Hügelland) reicht bereits die Auswaschung von ca. 20 kg N/ha um das Sickerwasser annähernd mit dem Nitratschwellenwert von 50 mg NO_3^-/l anzureichern (Abbildung 1). Daher sind die Nitratvorräte des Bodens sowie deren Freisetzung nach der Ernte und in der vegetationslosen Zeit möglichst auf unter 10 kg N/ha zu reduzieren.

Stickstoff-Auswaschung (kg N/ha)		Nitrat im Sickerwasser (mg NO_3^-/l)
10	→	22
20	→	44
30	→	66

Abbildung 1: Nitratbelastung des Grundwassers bei 200 l Sickerwasser/m² und Jahr

Um Nitrat im Grundwasser zu messen, wählen Fachleute Messstellen nach den Vorgaben der Trinkwasserverordnung so aus, dass eine repräsentative Übersicht über den chemischen Grundwasserzustand in Bayern gegeben ist. Die Probenahme an den Messstellen wird von den jeweils örtlich zuständigen Wasserwirtschaftsämtern durchgeführt. Anschließend erfolgt eine Analyse im Laborverbund der bayerischen Wasserwirtschaft oder von externen, akkreditierten Laboren. Die Ergebnisse werden durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt

(<https://www.gkd.bayern.de/de/grundwasser/chemie>). Die Auswahl der Messstellen erfolgt repräsentativ hinsichtlich der jeweiligen Geologie und Landnutzung in Bayern. Zur Probenahme werden qualitätsgesicherte Grundwassermessstellen sowie Quellen und Brunnen der Wasserversorgung genutzt.

Bei Betrachtung und Bewertung der bayernweiten Messergebnisse muss zwischen den gemessenen Nitratwerten im Grundwasser und den gemessenen Nitratwerten im Rohwasser unterschieden werden. Als Rohwasser wird das Wasser bezeichnet, das aus dem Grund entnommen und unmittelbar zu Trinkwasser aufbereitet wird oder sogar ganz ohne Aufbereitung naturbelassen als Trinkwasser verteilt wird. Da diese Wasservorkommen oft in landwirtschaftlich weniger genutzten Gebieten liegen und durch Wasserschutzgebiete besonders geschützt sind, ist die Nitratbelastung im Rohwasser häufig geringer als im Grundwasser außerhalb der Schutzgebiete. So überschreiten in Bayern nur rund 2 % des zur Trinkwassergewinnung geförderten Rohwassers, aber rund 15 % der Messstellen des Wasserrahmenrichtlinien (WRRL)-Messnetzes den gemäß Grundwasserverordnung geltenden Schwellenwert für Nitrat von $50 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$. Das WRRL-Messnetz dient der repräsentativen, langfristigen Erfassung und Bewertung des chemischen Grundwasserzustandes. Die bayernweite Situation des Rohwassers sowie des Grundwassers wird regelmäßig in den Berichten des LfU: „Grundwasser für die öffentliche Wasserversorgung: Nitrat und Pflanzenschutzmittel“ beschrieben.

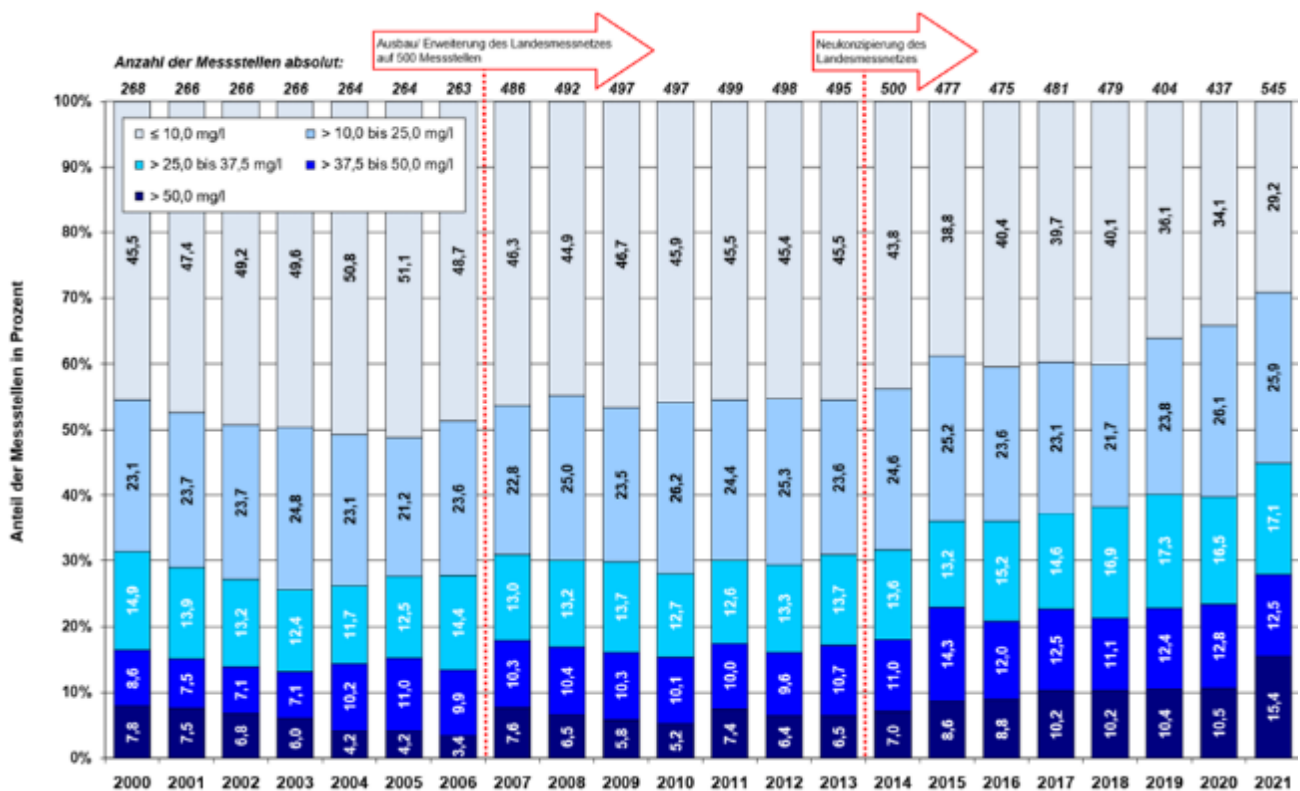


Abbildung 2: Anteil der untersuchten Messstellen des Landesmessnetzes Grundwasserbeschaffenheit (2000 bis 2006) bzw. des WRRL-Überblicksmessnetzes (2007 bis 2021) an den Nitratbelastungsklassen für die Jahre 2000 bis 2021.

Eine Tendaussage hinsichtlich der Nitratbelastung des Grundwassers ist anhand Abbildung 2 nicht möglich, da im dargestellten Zeitraum das Messnetz zweimal überarbeitet wurde und zusätzlich einzelne nicht mehr geeignete Messstellen durch andere ersetzt wurden. Insgesamt betrachtet liegt die Belastung des Grundwassers mit Nitrat in den letzten Jahren auf einem konstanten Niveau. Es zeigt sich also weder eine Verbesserung noch eine Verschlechterung der Situation. Dies gibt weiterhin Anlass dazu, in den Anstrengungen nicht nachzulassen und das Grundwasser auf lange Sicht vor Verschmutzungen zu bewahren. Dafür ist eine flächendeckende Vorsorge der beste Schutz. Deshalb

hat die EU den Schwellenwert für das Grundwasser mit 50 mg NO_3^-/l in der gleichen Höhe wie den Qualitätsstandard für Trinkwasser festgelegt. Verschiedene Gesetze und Regelungen sollen dafür sorgen, dass Grundwasser auf der gesamten Landesfläche geschützt wird. In ihnen ist beispielsweise geregelt, wie landwirtschaftliche und anderweitig genutzte Flächen bewirtschaftet werden können, damit Grundwasser keinen Schaden nimmt oder wie die Stickstoffemissionen von Verkehr und Industrie verringert werden müssen.

1.2 Phosphor in den Oberflächengewässern

Autor: Ulrich Kaul, LfU

Woher kommt der Phosphor in den Gewässern?

Phosphor (P) kommt aus diffusen und punktuellen Quellen in die Oberflächengewässer und führt häufig dazu, dass der gute Zustand nach der WRRL nicht erreicht wird. In vielen Gebieten werden daher ergänzende Maßnahmen im sogenannten Maßnahmenprogramm der WRRL-Bewirtschaftungspläne geplant oder es müssen nach der Düngeverordnung (DüV) „Gelbe Gebiete“ mit zusätzlichen Auflagen bei der Düngung ausgewiesen werden. Mehr als 50 % des gesamten Phosphoreintrages in Bayern stammen aus diffusen Einträgen, hauptsächlich aus Oberflächenabfluss, Erosion und auch Drainagewasser. Direkteinträge bei der Ausbringung von Düngemitteln spielen ebenfalls eine Rolle.

Was bewirkt der Phosphor in den Gewässern?

Wie alle Pflanzen brauchen auch die Algen und Wasserpflanzen (Makrophyten) in Gewässern Nährstoffe wie Phosphor und Stickstoff zum Wachsen. Das gesamte Nahrungsnetz bis zu den Fischen ist hiervon abhängig und wird dadurch in seiner Artzusammensetzung und deren Häufigkeiten (Biodiversität) gesteuert. Gelangen die Nährstoffe im Übermaß in die Gewässer, wirken sie sich nachteilig aus: Probleme bereitet vor allem der Phosphor, der normalerweise im Gewässer das Pflanzenwachstum limitiert. Eine hohe Phosphorkonzentration führt im Wasser zu einer starken Entwicklung von nährstoffliebenden Wasserpflanzen und Algen (Eutrophierung) und die Anzahl verschiedenartiger Organismen (Biodiversität) nimmt ab. In Fließgewässern ist dies z. B. durch starken, glitschigen Bewuchs auf Steinen sowie Massenbeständen bestimmter Wasserpflanzen erkennbar.

In einem gesunden, stehenden oder langsam fließenden Gewässer entwickeln sich natürlicherweise nahezu immer neben den Makrophyten und auf dem Boden aufwachsenden Algen auch im Wasser schwebende, mikroskopisch kleine Algen (Phytoplankton). Bei übermäßiger Nährstoffzufuhr reagieren die drei Pflanzengruppen und abhängig von den Randbedingungen wie Größe und Tiefe des Gewässers sowie z. B. den Witterungsbedingungen im Frühjahr können sich unterschiedliche gewässerökologische Zustände einstellen. Vermehren sich die im Wasser schwebenden, mikroskopisch kleinen Algen übermäßig und schnell (Algenblüte), trüben sie das Wasser und die untergetauchten Wasserpflanzen können unter diesen trüben Verhältnissen meist nicht mehr wachsen und sterben ab (siehe Abbildung 3). Unter anderen Voraussetzungen können aber auch alle drei Pflanzengruppen Massenbestände nebeneinander ausbilden. Das Gewässer ist dann nahezu durchgängig von wurzelnden und auf der Oberfläche schwimmenden Pflanzen und Algen bedeckt.

Diese Veränderungen wirken sich auch auf die vom Pflanzenwachstum abhängigen Tiere wie Zooplankton (z. B. Wasserflöhe) und Fische aus. Meistens sind außerdem die menschlichen Nutzungen nur noch eingeschränkt möglich.



Abbildung 3: Blaualgenblüte im Eixendorfer See, Quelle: Ahlmer, Wolfgang (Reg. Oberpfalz)

Pflanzen produzieren bei der Photosynthese am Tag Sauerstoff, in der Nacht werden große Mengen Sauerstoff durch die Pflanzen verbraucht. In Fließgewässern führt dies zusammen mit dem Sauerstoffverbrauch beim Abbau abgestorbenen Pflanzenmaterials zu erheblichen Sauerstoffschwankungen, welche die Organismen stark belasten und im Extremfall zu Fischsterben führen können.

Bei hohen Lichtintensitäten kann der Sauerstoff vor allem in Seen in der durchlichteten Zone zeitweise stark ansteigen und eine für Fische undurchdringbare Zone ausbilden. Der biologische Abbau von großen Mengen abgestorbener und auf den Gewässerboden gesunkener Algen und Wasserpflanzen verursacht wiederum eine starke Sauerstoffzehrung, die dem Gewässer den Sauerstoff völlig entziehen kann. Der in der organischen Masse gebundene Phosphor wird dabei wieder freigesetzt und steht erneut für Massenentwicklungen von Algen und Wasserpflanzen zur Verfügung. Unter diesen Bedingungen geht der bisher im Sediment dauerhaft gebundene Phosphor wieder in Lösung und „düngt“ die Seen noch zusätzlich. Ist der Sauerstoff in größeren Gewässerbereichen vollständig aufgebraucht, sterben die Fische und Kleinlebewesen, man spricht dann auch vom „Umkippen eines Gewässers“.

Ein Kriterium für die Ausweisung der gelben Gebiete nach der DüV und der Ausführungsverordnung Düngeverordnung (AVDüV) sind die absoluten Einträge von Phosphor in Kilogramm pro Fläche. Von signifikanten Nährstoffeinträgen spricht man nach AVV Gebietsausweisung (AVV GeA), wenn ihre flächenspezifische, landwirtschaftlich bedingte Fracht im Alpenvorland mehr als 30 kg Phosphor/km² und Jahr beträgt. Das entspricht 0,3 kg P/ha bzw. ca. 0,7 kg P₂O₅/ha. Eine durchschnittliche Düngung in Höhe des Pflanzenentzuges beträgt ca. 70 kg P₂O₅/ha und Jahr. Werden davon nur 1 %, also 0,7 kg P₂O₅/ha über Oberflächenabfluss oder Erosion in Gewässer transportiert, kann bereits diese geringe Menge zu einer relevanten Verschlechterung des Gewässerzustands führen. Für Landwirte ist daher wichtig zu wissen, dass bereits sehr kleine Phosphormengen zu einer Eutrophierung führen können.

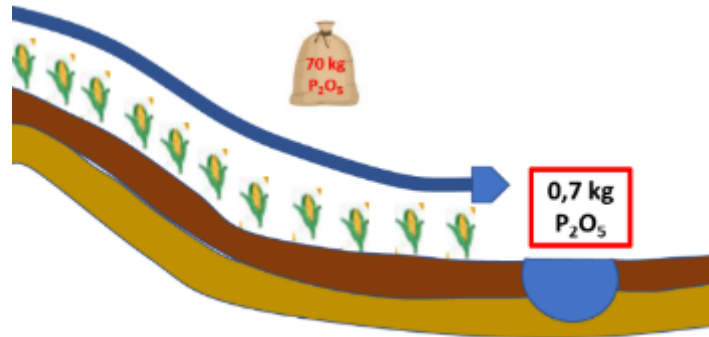


Abbildung 4: Kritischer Phosphataustrag in Seen, bei dem ein schlechter Zustand zu erwarten ist.

Wie ist der Zustand der Oberflächengewässer?

Die Gewässeruntersuchungen zur Beurteilung des Zustandes nach der WRRL zeigen, dass die Mehrzahl der Gewässer in Bayern nicht in einem guten ökologischen Zustand ist (Stand 2021). Das linke Kreisdiagramm (Abbildung 5) zeigt den ökologischen Zustand unserer Flusswasserkörper insgesamt. Dabei ist die Bewertung aller Qualitätskomponenten, der biologischen wie die der diversen Wasserpflanzen und Tiere sowie der physikalisch-chemischen Werte berücksichtigt. Demnach befinden sich nur ca. 20 % in einem guten und sehr guten Zustand, wohingegen ca. 80 % in einem mäßig bis schlechten Zustand sind. Im rechten Kreisdiagramm ist nur die Qualitätskomponente Makrophyten/Phytobenthos dargestellt. Hierbei handelt es sich um Wasserpflanzen und Algen, die als Indikatoren für die Nährstoffbelastung in den Gewässern dienen. Mehr als die Hälfte der Flusswasserkörper (53 %) in einem mäßigen bis schlechten Zustand zeigen den Handlungsbedarf in der Fläche sehr deutlich. Etwas besser sieht es bei den bayerischen Seen aus (Abbildung 6). Hier sind 43 % bzgl. der Nährstoffbelastung in mäßigem und unbefriedigendem Zustand. Insgesamt ist es daher dringend notwendig, dass alle Verursacher von Nährstoffeinträgen in die Oberflächengewässer diese weiter verringern. So gibt es nicht nur für die Landwirtschaft Auflagen und Programme, sondern auch für die Kläranlagenbetreiber.

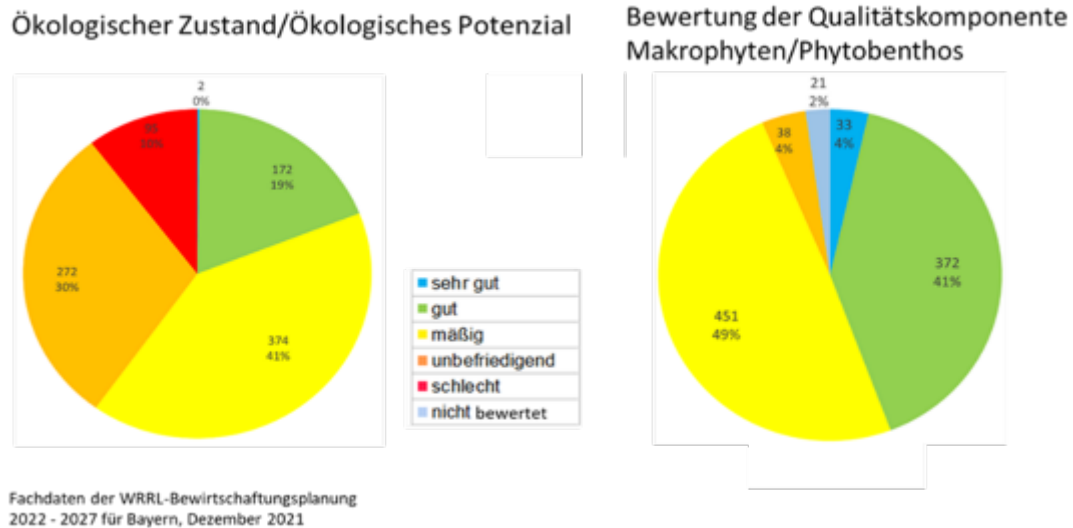


Abbildung 5: Zustand der Flusswasserkörper (FWK) (Quelle: https://www.lfu.bayern.de/wasser/wrrl/doc/bwp_2227/fwk_oekol_zustand.pdf)

Bewertung der Qualitätskomponente Makrophyten/Phytobenthos

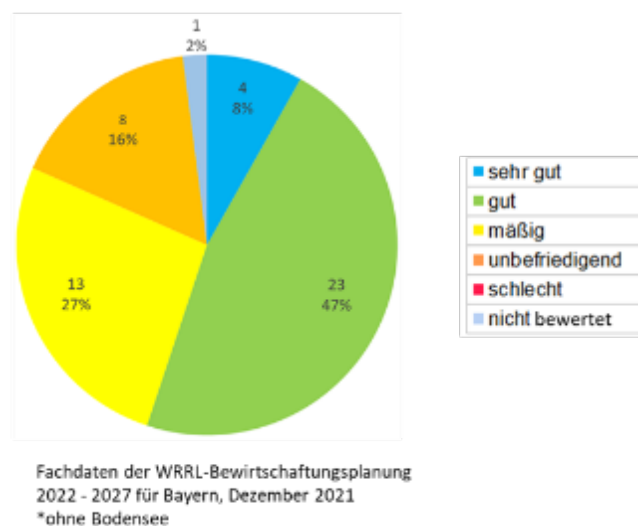
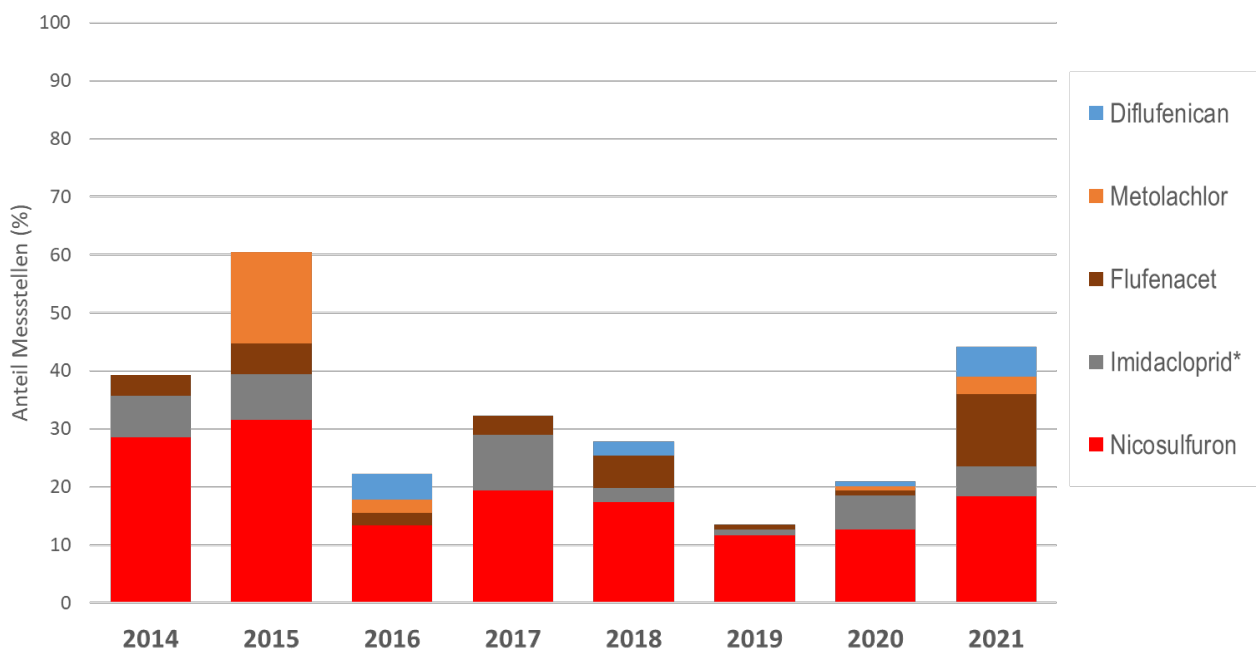


Abbildung 6: Zustand der Seewasserkörper (SWK) (Quelle: https://www.lfu.bayern.de/wasser/wrrl/doc/bwp_2227/swk_oekol_zustand.pdf)

1.3 Pflanzenschutzmittel in Grund- und Oberflächengewässern

Aktuell sind nach der Bewertung der WRRL in Bayern 36 Grundwasserkörper für den Faktor Pflanzenschutzmittel (Wirkstoffe und relevante Metaboliten rM) in einen schlechten Zustand eingestuft. In der Mehrzahl der Fälle handelt es sich um Belastungen mit nicht mehr zugelassenen Wirkstoffen und deren Metaboliten (Altlasten), insbesondere mit dem seit 1991 nicht mehr zugelassenen Herbizid Atrazin. In vier Grundwasserkörpern sind aktuell zugelassene PSM (Terbuthylazin, Desethylterbuthylazin, Metolachlor) die Belastungsursache.

Neben der Grundwasserüberwachung betreibt die bayerische Umweltverwaltung auch ein umfangreiches Messnetz in Oberflächengewässern. Seit 2018 werden jährlich mehr als 100 Messstellen auf PSM-Belastungen untersucht. Hierbei werden die Proben auf bis zu 200 PSM untersucht. Bei einer Vielzahl von Befunden hält sich die Schwellenwertüberschreitung dennoch in Grenzen. Bei 20 PSM, zu denen auch Altlasten gehören, werden Überschreitungen der UQN festgestellt. Die Gruppe der auffälligen Wirkstoffe mit häufigeren und höheren Messwerten beschränkt sich auf einzelne Herbizide und das nicht mehr zugelassene Insektizid Imidacloprid (Abbildung 7). Unter den Herbiziden sticht der Wirkstoff Nicosulfuron hervor, der häufig und ausschließlich im Maisanbau eingesetzt wird.



* Zulassung im Ackerbau seit 2018 ausgelaufen

Abbildung 7: Auffällige Pflanzenschutzmittel mit Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm (UQN) in Fließgewässern. (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt)

2 Handlungsfelder

Eine ausgeglichene Nährstoffversorgung landwirtschaftlich genutzter Flächen (LF) und gesunde Pflanzen sind die Voraussetzung zur Erzielung ökonomisch ausreichender Erträge und Qualitäten durch die landwirtschaftlichen Betriebe. Pflanzenbauliche Maßnahmen wie Düngung und Pflanzenschutz tragen zudem dazu bei, die Produktivität der Flächen langfristig zu erhalten. Gleichzeitig gilt es, die Gewässer in einen guten ökologischen und chemischen Zustand nach der WRRL zu bringen und damit nährstoffarm und frei von Rückständen zu halten.

Nach der WRRL sind in Gebieten, in denen Belastungen der Gewässer vorliegen, Maßnahmenprogramme zu erstellen, die geeignet sind, den guten Zustand wiederherzustellen. In der DüV von 2017 wurden erstmalig Gebiete mit einer hohen Nitratbelastung des Grundwassers (sogenannte „rote Gebiete“) und Gebiete mit einer Eutrophierung von Oberflächengewässern mit Phosphor (sogenannte „gelbe Gebiete“) definiert, in denen zusätzliche Auflagen bei der Düngung gelten. Außerdem geben das Wasser- und Naturschutzrecht zum Schutz der Oberflächengewässer die Anlage von Gewässer-randstreifen vor.

Die WRRL enthält jedoch darüber hinaus die Vorgabe, bei allen Gewässern flächendeckend den guten Zustand zu erhalten. Alle landwirtschaftlichen Betriebe müssen daher das gemeinsame Ziel haben, Einträge von Nährstoffen und Pflanzenschutzmittelrückständen zu vermeiden und so weit wie möglich zu reduzieren. Daraus ergeben sich die übergeordneten Handlungsfelder Boden, Pflanzenschutz und Düngung (Abbildung 8). Einzelflächenbezogene Maßnahmen wie zum Beispiel Fruchtfolge, Sortenwahl und Zwischenfruchtanbau können in mehreren Handlungsfeldern als Instrumente sinnvoll sein und werden in den einzelnen Kapiteln mit ihren Wirkungen beschrieben. Sie betreffen hauptsächlich pflanzenbauliche Aspekte. Weitere Maßnahmen zur gewässerschonenden Bewirtschaftung erfordern Umstellungen und Anpassungen im Gesamtbetrieb, dazu zählen insbesondere Aspekte der Tierhaltung oder der Technik. Auch darauf wird in den folgenden Kapiteln handlungsfeldbezogen eingegangen. Die folgenden **Checklisten für Grund- und Oberflächengewässer** erleichtern das Auffinden von betriebsspezifischen Lösungsansätzen.

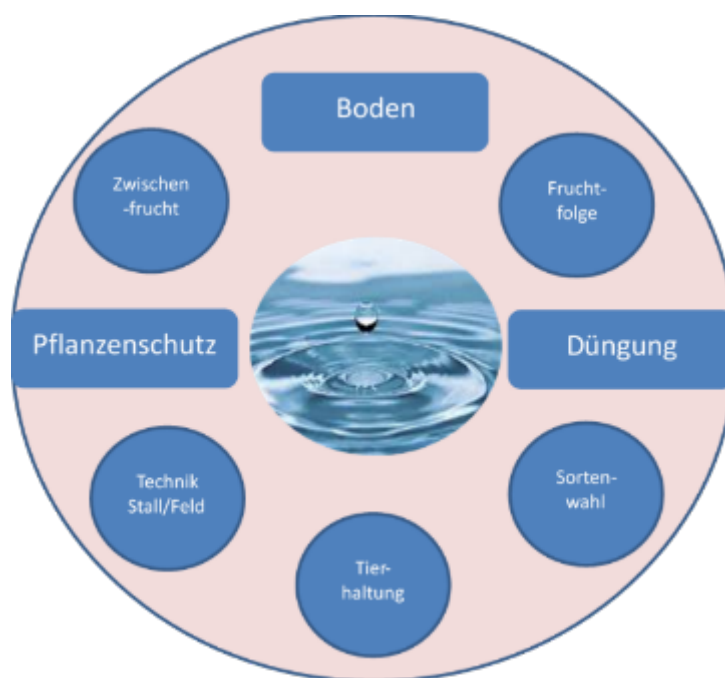


Abbildung 8: Handlungsfelder Gewässerschutz

2.1 Checkliste Grundwasser

	Ja	Nein	Kapitel
Nährstoffbilanzen gerechnet			4.2
Nährstoffbilanzen ausgeglichen			4.2
Tatsächliche Erträge erfasst			4.3
Düngeplanung durchgeführt			4.3
Betriebsspezifische Sortenwahl Weizen durchgeführt			4.4
Nährstoffgehalte organischer Dünger bekannt			4.7
Organische Dünger bedarfsgerecht, emissionsmindernd ausgebracht			4.7
Düngefenster angelegt			4.5
Bodenbearbeitung nach Ernte minimiert			4.6
Zwischenfrucht (leguminosenfrei) angebaut			4.6
Herbst-N _{min} untersucht			4.6
Herbst N _{min} < 40 kg N/ha			4.6
Wirtschaftsdünger-Lagerkapazität ausreichend vorhanden			4.9
Futtermittelzukauf kontrolliert			5.1/5.2
N-/P-reduzierte Fütterung			5.1/5.2
Vorgaben für Lagerung, Abfüllen und Transport von PSM eingehalten			3.1
Maßnahmen zur Risikominderung für PSM-Belastungen ergriffen			3.2
Sichere PSM-Lagerung			3.2.2
Punktquellen-Belastungen ausgeschlossen			3.2.3
Umweltschonende Reinigungstechnik			3.2.5
PSM-Versickerungsrisiko ermittelt und ggf. Maßnahmen ergriffen			3.3.2
Beratung in Anspruch genommen			7

2.2 Checkliste Oberflächengewässer

	Ja	Nein	Kapitel
Erosionsgefährdung der Flächen festgestellt			6.2
Zwischenfrüchte angebaut			6.4
Mulch- oder Direktsaat durchgeführt			6.6
Mulchauflage > 30 % erreicht			6.3
Fruchtfolge optimiert in Richtung ganzjährige Bodenbedeckung			6.5
Bearbeitung quer zum Hang durchgeführt			6.9
Schläge unterteilt, Hanglänge verkürzt			6.15
Gewässerrandstreifen > 5 m angelegt			6.14
Drainierte Flächen identifiziert, organische Dünger streifenförmig ausgebracht			6.12
Bodenuntersuchung P_2O_5 für alle Flächen aktuell			6.10
P_2O_5 -Gehalte $\leq$ Gehaltsstufe C			6.10
Düngebedarfsermittlung durchgeführt			4.3
Vorsorge für gute Bodenstruktur getroffen			6.4/6.7
Kalkung ausreichend			6.10
Begrünte Abflussmulden geschaffen			6.14
Auffangbecken geschaffen			6.15
Maßnahmen zur Risikominderung für PSM-Belastungen ergriffen			3.2
Sichere PSM-Lagerung			3.2.2
Punktquellen-Belastungen ausgeschlossen			3.2.3
Anwendungsbedingungen nach guter fachlicher Praxis eingehalten			3.2.3
Abdriftminderungstechnik umgesetzt			3.2.4
Run-off-Risiko minimiert			3.3.1
Abstandsauflagen PSM eingehalten			Anhang 1 u. 2, S. 135
Beratung in Anspruch genommen			7

3 Handlungsfeld Pflanzenschutz

Autoren: Klaus Gehring, Werner Heller, LfL

Bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) kommen in der Regel chemisch-synthetische Wirkstoffe und Beistoffe zum Einsatz. Die angewendeten Wirkstoffe verfügen über eine hohe biologische Aktivität zur Regulierung von Schadorganismen bzw. von Unkräutern, Krankheitserregern und Schädlingen. Nach der aktuellen Statistik des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL, 2023) werden in Deutschland jährlich 31.675 Tonnen Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe für den professionellen Einsatz abgegeben. Das entspricht einer Behandlungsmenge von rund 2,5 kg Wirkstoff pro Hektar Ackerfläche und Jahr.

Bei der Anwendung im Freiland kann nicht vollständig sichergestellt werden, dass es nicht zu Wirkstoffverlusten und Wirkstoffaustrag in die Umwelt kommt.

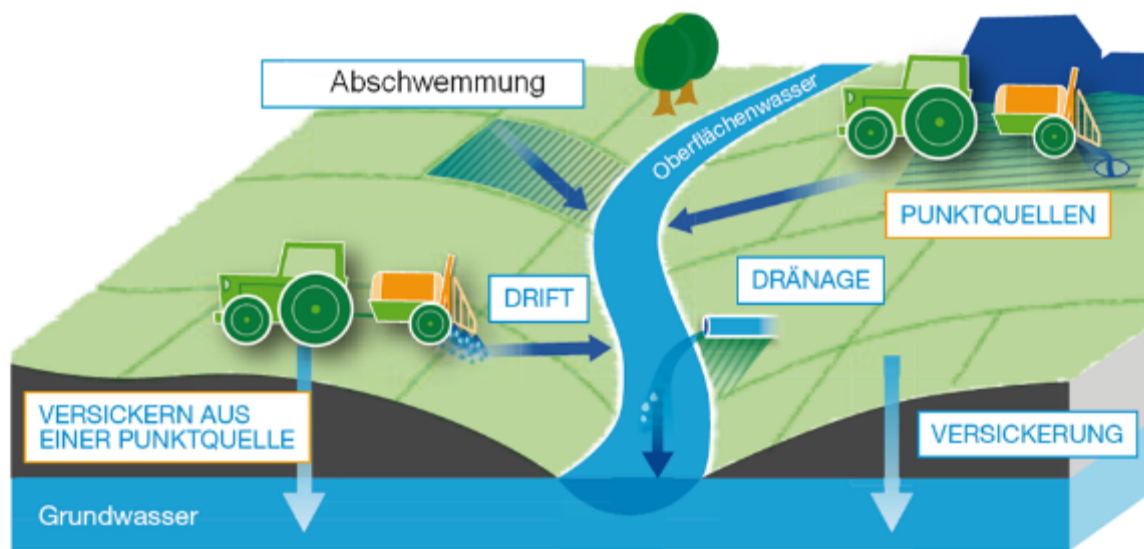


Abbildung 9: Eintragspfade für Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe in Oberflächengewässer und Grundwasser (Quelle: BASF)

Verluste von Wirkstoffen und Einträge in Gewässer können auf sehr unterschiedliche Weise stattfinden (Abbildung 9). Nachfolgende Informationen sollen zur Sensibilisierung für diese verschiedenen Risikopotenziale beitragen. Konkrete Empfehlungen zur Risikominimierung dienen der Verbesserung des Gewässerschutzes beim Einsatz von PSM.

Im Zulassungsverfahren von PSM werden bei Bedarf Anwendungsbestimmungen zur Vermeidung von Umwelt- und Gewässerbelastungen festgesetzt. Ergänzend gibt es grundsätzliche Vorgaben, wie zum Beispiel das Anwendungsverbot in und unmittelbar an Gewässern und Gewässerabstandsregelungen (Anhang 1, S. 135). Die Einhaltung dieser verbindlichen Regelungen ist Teil der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz. In der Realität kann es durch ungünstige Umstände, wie extreme Witterungsereignisse, dennoch zu Gewässerbelastungen kommen. Nachfolgende Empfehlungen sollen auch dieses Restrisiko minimieren und können damit als beste fachliche Praxis verstanden werden.

Anwender von PSM tragen eine hohe Verantwortung für den Umweltschutz. Vorbeugender Gewässerschutz ist aktiver Trinkwasser- und Naturschutz. Er entspricht zudem den gesellschaftlichen Erwartungen an einen nachhaltigen Einsatz von PSM und trägt zur langfristigen Verfügbarkeit von Wirkstoffen bei.

3.1 Rechtsvorschriften

Der Gewässerschutz wird von mehreren, unterschiedlichen Rechtsvorschriften adressiert. Von zentraler Bedeutung sind die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und die Gesetze und Verordnungen in der nationalen Umsetzung (Anhang 2, S. 135). Die WRRL stellt einen europäisch einheitlichen Ordnungsrahmen für den Schutz der Oberflächengewässer und des Grundwassers dar. Wesentliche Ziele sind Schutz und Verbesserung des Zustandes der aquatischen Ökosysteme, Sicherung einer nachhaltigen Wassernutzung auf Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen sowie Reduzierung der Verschmutzung der Oberflächengewässer und des Grundwassers durch schädliche Stoffe und Vermeidung weiterer Belastungen.

Um den Zustand der Gewässer beschreiben und Veränderungen bewerten zu können, sind spezifische Schwellenwerte für schädliche Stoffe definiert. Für die Belastung des Grundwassers mit Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen einschließlich ihrer relevanten Abbauprodukte (rM) gilt die Grundwasserqualitätsnorm von jeweils 0,1 µg/l Einzelstoff und insgesamt 0,5 µg/l Stoffsumme. Dieser Schwellenwert ist gleichzeitig der Trinkwassergrenzwert und stellt einen allgemeinen, gesundheitlichen Vorsorgewert dar.

Abbauprodukte von Wirkstoffen, die keine nennenswerte biologische Wirkung mehr besitzen, werden als nicht-relevante Metaboliten eingestuft. Für diese Stoffe gibt es bisher keinen rechtsverbindlichen Schwellenwert. Für Einträge in das Grundwasser wird ein Richtwert von 10 µg/l herangezogen und für das Trinkwasser dienen gesundheitliche Orientierungswerte von 1,0 bzw. 3,0 µg/l, je nach toxikologischen Eigenschaften, für eine Risikobewertung. Mittelfristig werden rechtsverbindliche Schwellenwerte im Rahmen der Novellierung des Fachrechts erwartet.

Bei der Bewertung der Belastung von Oberflächengewässern gibt es keine einheitlichen Grenz- oder Schwellenwerte wie bei der Grundwasser-Bewertung, vielmehr wird hier jeder Stoff nach seinen spezifischen toxikologischen Eigenschaften betrachtet. Dies geschieht anhand von stoffspezifischen Umweltqualitätsnormen (UQN). Hierbei handelt es sich um die Konzentration eines bestimmten Schadstoffs oder einer bestimmten Schadstoffgruppe, die in Wasser, Schwebstoffen, Sedimenten oder Biota aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes nicht überschritten werden darf. Für die Bestimmung der UQN-Konzentration wird in der Regel der Wert des jeweils empfindlichsten Nicht-Ziel-Organismus herangezogen. Im Rahmen der Gewässerüberwachung werden Jahresdurchschnittskonzentrationen (JD-UQN) und zulässige Höchstkonzentrationen (ZHK-UQN) berücksichtigt. Aufgrund der stoffspezifischen, toxikologischen Ableitung können UQN-Werte auch deutlich niedriger liegen als die Grenzwerte für die Grundwassereinstufung. Für das Herbizid Diflufenican beträgt der JD-UQN beispielsweise 0,009 µg/l im Unterschied zur allgemeinen Grundwasserqualitätsnorm von 0,1 µg/l.

Belastungen mit Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen können die Einstufung von Oberflächengewässern in ihrem chemischen und ökologischen Zustand beeinträchtigen. Für die Bewertung des chemischen Zustandes werden EU-einheitliche Umweltqualitätsnormen für prioritäre Schadstoffe und gefährliche Stoffe herangezogen. Hierbei handelt es sich um Nitrat, Schwermetalle, industrielle Schadstoffe, Pflanzenschutzmittel und persistente organische Schadstoffe. Bei den Pflanzenschutzmitteln werden hierfür (mit Ausnahme von Aclonifen) Altlasten, also Wirkstoffe mit ausgelaufener Zulassung, bewertet. Im Unterschied hierzu werden für den ökologischen Zustand vorrangig in der aktiven Anwendung befindliche Pflanzenschutzmittel in der Bewertung berücksichtigt. Aktuell sind für 45 Wirkstoffe rechtsverbindliche UQN in der Oberflächengewässerverordnung festgelegt.

Da nur für einen Bruchteil der derzeit 293 zugelassenen Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe UQN abgeleitet sind, werden für die Bewertung der Oberflächengewässer sogenannte RAK-Werte (RAK = regulatorisch akzeptable Konzentration) als Hilfskriterien herangezogen. Im Gegensatz zu den UQN sind die RAK-Werte allerdings nicht rechtsverbindlich und können daher auch nicht für eine

Qualitätsbewertung nach der WRRL verwendet werden. Sie dienen jedoch für eine fachliche Beurteilung der PSM-Belastung in Oberflächengewässern.

3.2 Maßnahmen zur Risikominderung bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln

Pflanzenschutzmittel können über sehr vielfältige Wege als Belastung in Gewässer gelangen. Man unterscheidet hierbei zwischen Punktquellen und diffusen Quellen. Als Punktquellen werden Belastungen bezeichnet, die sehr kleinräumig und in hoher Konzentration auftreten können.

Hierzu zählen:

- Transportschäden
- fehlerhafte Lagerung
- Verluste beim Befüllen der Spritze
- fahrlässige Entsorgung von Restmengen
- Verluste bei der Reinigung und beim Abstellen der Spritzen sowie bei der Lagerung von Leergebinden

Als diffuse Quellen werden Belastungen bezeichnet, die zwar in niedriger Konzentration, aber über große Flächen in Gewässer gelangen können. Diese können während und vor allem nach der Applikation eintreten. Eintragspfade sind:

- Abdrift bei der Applikation
- Abschwemmung nach der Applikation
- Austräge über Drainagen
- Versickerung in das Grundwasser

Ein aktiver Gewässerschutz beginnt bereits bei der Planung von PSM-Anwendungen. Der effektivste Gewässerschutz ist die Anwendung auf das notwendige Mindestmaß zu begrenzen. Durch die Berücksichtigung von Bekämpfungsschwellen, die Beachtung von Warndiensthinweisen und durch Informationen von Prognosemodellen können unnötige Anwendungen weitestgehend verhindert werden. Die Beratungsangebote der Erzeugerringe, des amtlichen Pflanzenschutzdienstes und der Online-Plattform Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion (ISIP) sollten dafür gezielt genutzt werden (<https://www.isip.de>).

Auch die Auswahl und Kombination von anzuwendenden PSM kann sich auf den Gewässerschutz auswirken. Um das Risiko für Abdrift und die Abschwemmung von PSM in Oberflächengewässer abzusichern, gelten für die einzelnen Präparate entsprechende Anwendungsbestimmungen für den Gewässerabstand oder den Bedarf für einen bewachsenen Randstreifen. Durch die gezielte Auswahl von Präparaten ohne oder mit relativ geringen Auflagen kann bereits das Belastungsrisiko reduziert werden. Ein weiterer Ansatz ist umfangreiche Tankmischungen mit hohen Wirkstoffmengen zu vermeiden. Durch eine möglichst gezielte und selektive Behandlung einzelner Schadorganismen kann der Wirkstoffeinsatz minimiert werden, was letztlich auch das Belastungsrisiko für Gewässer verringert.

Selbst die Entscheidung über den Behandlungstermin kann eine unmittelbare Wirkung auf das Belastungsrisiko für Gewässer haben. Ein extrem ungünstiges Szenario ist die Anwendung von Herbiziden oder auch anderen PSM kurz vor einem stärkeren Regenereignis. In solchen Fällen ist die Abschwemmung von Wirkstoffen über Abfließen in Gewässer sehr wahrscheinlich. Bei einem kurzfristig anstehenden Witterungswechsel mit dem Risiko von Starkregen sollte daher der Einsatz von PSM auf günstigere Behandlungsbedingungen verschoben werden. In diesem Zusammenhang wird auch darauf hingewiesen, dass die Vermeidung bzw. Verminderung von Wirkstoffverlusten auch aktiver

Gewässerschutz ist. Gleichzeitig kann die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von PSM-Anwendungen verbessert werden. Umwelt- und Gewässerschutz ist somit auch eine Optimierung der Pflanzenproduktion.

3.2.1 Transport

Der Transport von PSM ist, bis auf sehr wenige Ausnahmen, ein Gefahrguttransport und unterliegt damit den Vorgaben des Europäischen Übereinkommens über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR), die von Lieferanten einzuhalten sind. Für den eigenen, betrieblichen Bedarf bestehen Ausnahmegenehmigungen für den Transport von geringen Mengen an Gefahrgütern. Die maximale Transportmenge wird nach der 1.000-Punkte-Regel ermittelt. Hierbei wird das jeweilige PSM entsprechend seiner Gefahrguteinstufung mit einem bestimmten Punktesatz multipliziert (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kalkulationsfaktoren für die 1.000-Punkte-Regel gemäß ADR in Verbindung mit Ausnahme Nr. 18 nach GGAV (Gefahrgut- Ausnahmereverordnung)

Beförderungskategorie	Faktor
1	50
1 mit Fußnote a)	20
2	3
3	1

Beförderungskategorie 1 a) betrifft Sprengstoffe, Ammoniak und Chlor

Die Summe der Transportmenge darf 1.000 Punkte nicht überschreiten, ansonsten sind die Anforderungen an einen regulären Gefahrguttransport einzuhalten. Daten für die Kalkulation sind in den Sicherheitsdatenblättern der Präparate und in der Tabelle ADR 1.1.3.6 hinterlegt, die auch beim Fachhandel erfragt werden können. Ein Kalkulationsbeispiel für einen eigenbetrieblichen Transport von PSM zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Kalkulationsbeispiel für einen eigenbetrieblichen Transport von Pflanzenschutzmitteln nach der 1.000-Punkte Regel

UN-Nr.	Pflanzenschutzmittel	Verpackungsgruppe	Beförderungskategorie	Höchst-mengen (kg/l) nach ADR Tab.1.1.3.6	Faktor	Tatsächl. Menge (kg/l)	Punkte-summe
3077	BROADWAY	III	3	1000	1	200	200
3082	Input Xpro	III	3	1000	1	50	50
						Punkte	250

UN-Nr. = Kennnummer für gefährliche Stoffe/Güter

Soweit die 1.000-Punkte-Regel eingehalten wird, sind für den Transport noch folgende allgemeine Anforderungen einzuhalten:

- Der Transport darf nur für eigene Zwecke erfolgen.
- Es darf keine Beförderung mit anderen Gefahrgütern (z. B. Kraftstoffe) erfolgen.
- Pflanzenschutzmittel sind von Nahrungs- und Futtermitteln getrennt zu halten.
- Verpackungen müssen dicht verschlossen, unbeschädigt und frei von gefährlichen Anhaftungen sein.
- Das Ladegut ist gegen Verrutschen zu sichern (z. B. mit Spanngurten).
- Es muss ein geprüfter Feuerlöscher (2 kg) beim Transport mitgeführt werden.

Die Ausnahmeregeln gelten auch für den Transport vom Betrieb zur Einsatzfläche. Hierbei ist zu beachten, dass geöffnete Gebinde nicht in der Fahrerkabine befördert werden dürfen. Für den Transport von angebrochenen Pflanzenschutzmitteln werden gasdicht und auslaufsicher schließende Transportkisten mit UN-Zulassung für Gefahrgüter empfohlen.

Bei allen Transportschäden mit Leckagen von Pflanzenschutzmitteln ist unverzüglich über die Notfallnummer 112 die Feuerwehr zur Beseitigung und Vermeidung von Umweltschäden zu alarmieren.

3.2.2 Lagerung

Bei der Lagerung von Pflanzenschutzmitteln müssen neben den Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz von Mensch und Tier, der Umwelt und des Grundwassers auch pflanzenschutzrechtliche Bestimmungen eingehalten werden. Zu den wesentlichen Sicherheitsmaßnahmen gehören der Brand- und Wasserschutz. Die zu treffenden Maßnahmen hängen von den gelagerten Mengen und den Eigenschaften (Wassergefährdung, Entzündungsneigung und Giftigkeit) der PSM ab. Auch sind geeignete Vorkehrungen zu treffen, um einen unbefugten Zutritt zum Lager oder eine missbräuchliche Verwendung zu verhindern. Da PSM generell als wassergefährdende Stoffe (Gefährdungsklasse 3) eingestuft werden, greifen bei der Lagerung dieser Stoffe verschiedene gesetzliche Vorgaben (Anhang 2, S. 134). Diese dienen nicht nur dem Schutz des Wassers, sondern auch dem Anwender und seinem Umfeld. Auch wenn für die betriebliche Lagerung für den eigenen Gebrauch und für PSM-Mengen bis 1.000 kg bzw. Liter einfachere Regelungen gelten, sollte vor der Investition in entsprechende Lagertechnik mit den zuständigen Behörden, insbesondere dem Wasserwirtschaftsamt und dem Kreisbauamt, Kontakt aufgenommen werden.

Tabelle 3: Vorschriften für die Lagerung von PSM in Abhängigkeit von den Eigenschaften und der Lagermenge (Übersicht)

	Lagermenge ≤ 200* l bzw. kg	Lagermenge > 200 bis ≤ 1.500* l bzw. kg
Baurecht	• Anzeige der PSM-Lagerung bei der Kreisbehörde • Bei der Errichtung und dem Ausbau kann je nach Art und Größe eine Baugenehmigung erforderlich werden • Gegen angrenzende Räume sollten widerstandsfähige Wände, Decken (F90) und Türen (F30) vorhanden sein	
Brandschutz	• Keine Lagerung mit anderen brandgefährlichen Stoffen • Lagereinrichtung aus feuerbeständigen Baustoffen • Regelmäßiger Luftaustausch	
Wasserrecht	• Stoffundurchlässige Lagerfläche (mit Nachweis) • Auffangvolumen von 10 % der Lagermenge (mindestens das größte Gebinde) • In Wasserschutzgebieten Auffangvolumen von 100 % der Lagermenge	Zusätzlich • Anzeige der Lagerstätte beim Wasserwirtschaftsamt • Alle 5 Jahre Überprüfung durch einen Sachverständigen
GefStoffV, TRGS 510	Kleinmengenregelung kann in Anspruch genommen werden	Die Schwellenwerte für bestimmte Gefahrstoffe (z. B. akut toxische Stoffe ≤ 200 kg) sind einzuhalten oder es sind zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich

*) für besonders gefährliche PSM (z. B. Einstufung GHS06) gelten niedrigere Schwellenwerte gemäß TRGS Technische Regeln für Gefahrstoffe 510

Unabhängig von der Art und Größe der Lagereinrichtung sind folgende Grundsätze zu beachten:

- Lagerung in einem separaten, verschließbaren, kühlen, gut belüfteten, trockenen, ablauf- und frostsicheren Raum oder Einrichtung
- Lagereinrichtung aus feuerfesten Materialien, als PSM-Lager gekennzeichnet und für Unbefugte nicht zugänglich
- Bereitstellung von persönlicher Schutzausrüstung (Handschuhe, Brille, Atemschutz usw.), Erste-Hilfe-Mittel sowie Bindemittel und Schaumlöscher im Verhältnis zur Lagermenge für einen eventuellen Schadensfall
- Führen einer aktuellen Lager-/Gefahrstoffliste mit den Sicherheitsdatenblättern der gelagerten PSM
- Lagerung der PSM in fest verschlossenen und unbeschädigten Originalverpackungen
- Einlagerungstermin auf den Gebinden festhalten
- Falls möglich getrennte Lagerung von brennbaren oder entzündbaren Mitteln
- Innerhalb und in der Nähe des Gefahrstofflagers nicht essen, trinken oder rauchen.

PSM mit Wirkstoffen, die EU-weit verboten oder mit einem vollständigen Anwendungsverbot nach der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung belegt sind, unterliegen der Beseitigungspflicht (§ 15 Pflanzenschutzgesetz). Sie dürfen bei einem Händler (und bei Anwendern) nicht gelagert werden, sondern sind unverzüglich sachgerecht als Gefahrstoff zu beseitigen.

3.2.3 Vor der Anwendung

Bevor eine Behandlung mit PSM durchgeführt wird, muss der konkrete Behandlungsbedarf ermittelt, eine Präparate- und Aufwandmengenauswahl getroffen und letztlich die Spritzmittellösung in der für den Einsatz vorgesehenen Feldspritze hergestellt werden.

Zur Feststellung des notwendigen Behandlungsbedarfs muss der konkrete Schaderregerbefall ermittelt werden. Im Abgleich der Befallsintensität mit den jeweiligen Bekämpfungsschwellen ergibt sich der Bedarf für oder gegen einen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Für die Regulierung von Krankheiten und Schädlingen stehen neben den Warndienstaufrufen des Pflanzenschutzdienstes auch schlagspezifische Prognoseverfahren und Entscheidungshilfen für die Beurteilung des Behandlungsbedarfs auf der Online-Plattform ISIP (Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion - <https://www.isip.de>) zur Verfügung. Auch für die Unkrautregulierung können anhand der jeweiligen Unkraut-Besatzdichten Behandlungsempfehlungen auf der ISIP-Plattform, beim Hessischen Pflanzenschutzdienst (<https://www.psm-finder.de/>) oder bei der Zuckerindustrie (<https://bisz.suedzucker.de/pflanzenschutz/herbinfo/>) abgerufen werden. Bei einem notwendigen Behandlungsbedarf ist die Auswahl der Mittel und die Gestaltung der Aufwandmenge nicht nur für den Behandlungserfolg, sondern auch für den Gewässerschutz ausschlaggebend. Als erstes Entscheidungskriterium sind Präparate und Aufwandmengen zu wählen, die zwar die vorhandenen Leitunkräuter, Krankheitserreger oder Schädlinge erfolgreich regulieren, aber ansonsten die Biodiversität schonen. Es sollten also besonders selektive Behandlungsmaßnahmen gewählt werden. Bei einer Auswahlmöglichkeit zwischen alternativen Präparaten mit einem vergleichbaren Wirkungsspektrum sollten Präparate bevorzugt werden, die ein möglichst geringes Belastungspotenzial für Gewässer besitzen. Nach Möglichkeit sind Mittel mit der Chemikalieneinstufung GHS09 (Stoffe und Gemische, die akute und/oder langfristige Schadwirkungen gegenüber Wasserorganismen hervorrufen) zu vermeiden. Bei vorhandenen Alternativen sollten weiterhin Präparate mit möglichst geringen Auflagen für den Schutzbereich Wasser (NG- und NW-Anwendungsbestimmungen) bevorzugt werden.

Im Sinne des pro-aktiven Gewässerschutzes sollte beachtet werden, dass der Bedarf für Behandlungen mit Pflanzenschutzmitteln bereits im Vorfeld durch eine sachgerechte Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Sortenwahl reduziert werden kann. Für die Unkrautregulierung stehen zudem alternative, mechanische Verfahren zur Verfügung, durch die eine Herbizidbehandlung ersetzt oder auf eine Teilflächenbehandlung begrenzt werden kann. Für den Einsatz von Scharhackgeräten zur Unkrautkontrolle im Zwischenreihenbereich ist jedoch zu beachten, dass erosionsanfällige Flächen hierfür, auch aus Gründen des Gewässerschutzes, nicht geeignet sind.

Vor dem Befüllen der Pflanzenschutzspritze ist der konkrete Bedarf an Pflanzenschutzmitteln zu bestimmen. Zur Vermeidung unnötiger Restmengen ist vor jeder Anwendung eine exakte Berechnung der benötigten Spritzflüssigkeit für die zu behandelnde Fläche notwendig. Eventuell einzuhaltende Abstandsauflagen im Grenzbereich zu Gewässern oder sensiblen Gebieten sind bei der Ermittlung der Anwendungsfläche entsprechend zu berücksichtigen. Vor der Behandlung des letzten Teilstückes muss die noch benötigte Flüssigkeitsmenge unter Berücksichtigung der noch vorhandenen Restmenge exakt berechnet werden.

Anwendungsbedingungen beachten

Bei einer geplanten Pflanzenschutzmittel-Behandlung sind vor dem Ansetzen der Behandlungslösung die Anwendungsbedingungen zu überprüfen. Nur bei geeigneten Umweltbedingungen ist mit Spritz- und Sprühgeräten eine sachgerechte Behandlung möglich (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Rahmenbedingungen für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mit Feldspritzgeräten nach guter fachlicher Praxis

Windgeschwindigkeit	Max. 5 m/s
Lufttemperatur	Max. 25 °C
Luftfeuchtigkeit	Min. 30 % rLF
Fahrgeschwindigkeit	Max. 8 km/h
Wasseraufwand	200 - 400 l/ha bzw. nach Gebrauchsanweisung

Die Einhaltung dieser Rahmenbedingungen gewährleistet eine ausreichende Verteilgenauigkeit auf der Behandlungsfläche und begrenzt Verluste durch Abdrift und Verdunstung. Das Risiko für Verluste von Pflanzenschutzmitteln bei der Applikation steht unter den gegebenen Anwendungsbedingungen auch im Verhältnis zur eingesetzten Geräte- bzw. Düsenteknik. Eine umfangreiche Möglichkeit zur Bewertung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Abdrift und die Wirksamkeit von Abdriftminderungsmaßnahmen bietet der TOPPS-prowadis Abdriftmanager (<https://topps-drift.org/?LANG=DE>). Das Online-Tool, das auch als Offline-Version zur Verfügung steht, ermöglicht die einzelfallspezifische Bewertung von Anwendungen im Feld-, Obst- und Weinbau. Ein weiteres Hilfsmittel zur Beurteilung günstiger Anwendungsbedingungen mit der verfügbaren Gerätetechnik ist der Applikationstechnik-Berater für das Smartphone Cropwise Spray Assist (<https://www.syngenta.de/sprayassist>). Hier werden dem Anwender optimale Geräteeinstellungen und günstige Anwendungszeiten vorgeschlagen.

Zudem befinden sich Assistenzsysteme in der Entwicklung, die eine standortspezifische Bewertung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln entsprechend aktuell geltender Auflagen oder Anwendungsbestimmungen ermöglichen. Zusätzlich können Applikationskarten oder Applikationsaufträge für Feldspritzen erstellt werden. Eine Dokumentation der Behandlung ist optional ebenso möglich (z. B. OPAL-Assistenzsystem oder PAM-Pflanzenschutz-Anwendungs-Manager).



Abbildung 10: Der TOPPS-prowadis Abdriftmanager steht als Online-Tool und Software für den Download zur Verfügung. Es ist eine Entwicklung von sieben europäischen Mitgliedsstaaten unter Förderung durch die European Crop Protection Association

Punktbelastungen verhindern

Besondere Vorsicht ist bei der Herstellung der Spritzmittelflüssigkeit geboten, da unverdünnte Präparate zu hohen Belastungen führen können. Bereits der Eintrag von kleinsten Mengen über die Kanalisation oder den Hofablauf kann ein Gewässer großflächig kontaminieren und starke Schädigungen von Wasserorganismen verursachen. Untersuchungen haben gezeigt, dass Punktquellen 40 - 90 % der Einträge von PSM in Gewässer ausmachen und somit den wichtigsten Eintragsweg darstellen. Diese Belastungen können bei einem sorgsamem Umgang an der Befüllstelle vollständig vermieden werden. Das Befüllen von Spritz- und Sprühgeräten erfolgt in den meisten Fällen auf befestigten Hofflächen. Diese dürfen sich jedoch nicht in der Nähe von Oberflächengewässern oder im Bereich von Kanalisationsanschlüssen befinden. Versehentlich verschüttete PSM dürfen nicht auf sensible Bereiche ablaufen und müssen sich gegebenenfalls leicht auffangen lassen.

Geeignete Plätze für die Befüllung von Pflanzenschutzgeräten

Nur auf einem geeigneten Befüllplatz ist gewährleistet, dass Punktquelleneinträge verhindert werden. Dieser hat eine befestigte Oberfläche mit seitlicher Aufkantung und besitzt keinen Anschluss an die Kanalisation. Damit Niederschläge keine Wirkstoffreste abschwemmen können, sollte der Platz nach Möglichkeit überdacht sein. Einen besonders hohen Sicherheitsstandard bieten Befüll- und Waschplätze, welche als geschlossenes System konzipiert und mit einer biologischen Abbaustufe für PSM-Wirkstoffe ausgestattet sind. Solche Anlagen, die als Biobed-Systeme bezeichnet werden, können je nach Bedarf sehr unterschiedlich konstruiert sein. Biobed-Systeme ermöglichen einen verantwortungsvollen Umgang mit Reinigungsflüssigkeiten und/oder verschütteten Pflanzenschutzmitteln, ohne dabei Oberflächengewässer oder andere Nichtzielflächen zu verunreinigen (*siehe auch 3.2.5 – Nach der Behandlung*).

Eine Einrichtung für größere Ackerbaubetriebe zeigt Abbildung 11.

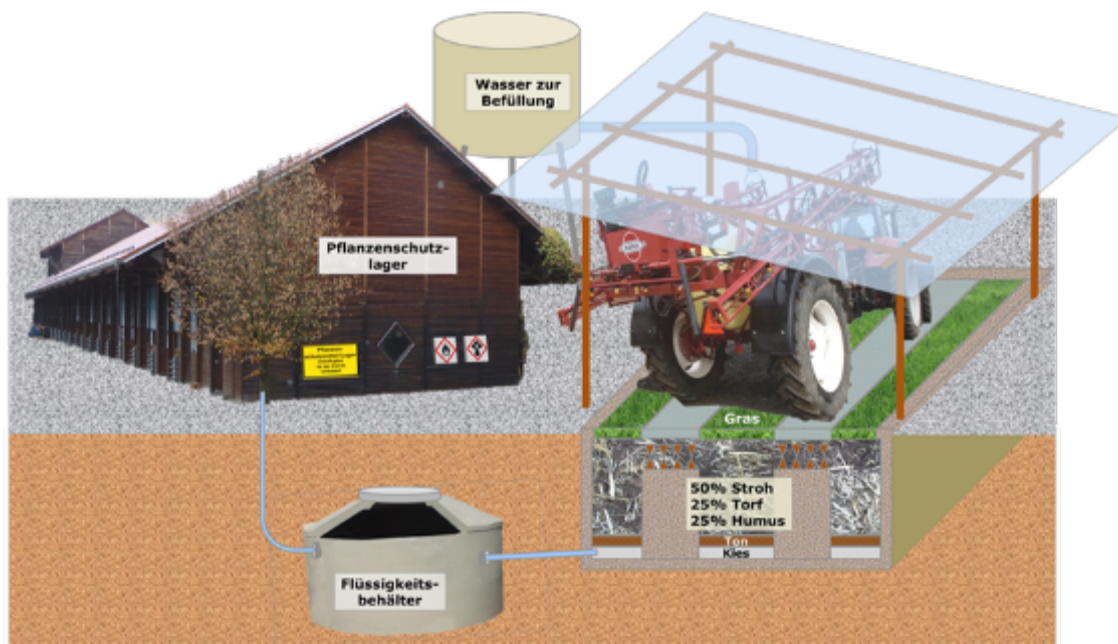


Abbildung 11: Befahrbares Biobett (engl. Biobed) als Befüll- und Waschplatz für Pflanzenschutzgeräte mit Überdachung (Quelle: TOPPS)

Befüllsysteme mit automatischer Mengenbegrenzung

Füllstandsanzeigen von Pflanzenschutzgeräten sind häufig schlecht lesbar und oft auch nicht sehr genau. Bei der Befüllung bieten sich Befüllsysteme mit automatischer Befüllmengenregelung an. Die maximal mögliche Befüllmenge muss vorher genau ermittelt werden und darf nicht überschritten werden. Bei Systemen mit automatischer Abschaltung des Zulaufs können die benötigten Flüssigkeitsmengen vorgewählt und exakt eingefüllt werden. Dadurch wird ein Überlaufen des Behälters verhindert und somit auch Punktquelleneinträge vermieden.



Abbildung 12: Füllsysteme mit Durchflussmesser und automatischer Abschaltung verhindern, dass zu viel Spritzbrühe angesetzt wird und Geräte bei der Befüllung überlaufen (Bild: W. Heller)

Geschlossene Entnahmesysteme für Pflanzenschutzmittel (CTS =Closed-Transfer-Systems)

Beim Einfüllen von flüssigen Pflanzenschutzmitteln besteht die Gefahr, dass geringe Mengen verschüttet werden oder abtropfen. Sogenannte CTS (Closed-Transfer-Systems) ermöglichen hier verlustfreie Teil- und Komplettentnahmen von Pflanzenschutzmitteln aus gesiegelten oder offenen Kanistern mit anschließender Reinigung, ohne dass der Anwender mit dem Pflanzenschutzmittel in Kontakt kommt.

Moderne Befüllsysteme dienen nicht nur dem Anwenderschutz, sondern sorgen dafür, dass beim Einfüllen der Mittel nichts daneben geht. Somit sind sie auch ein Beitrag zum Gewässerschutz.

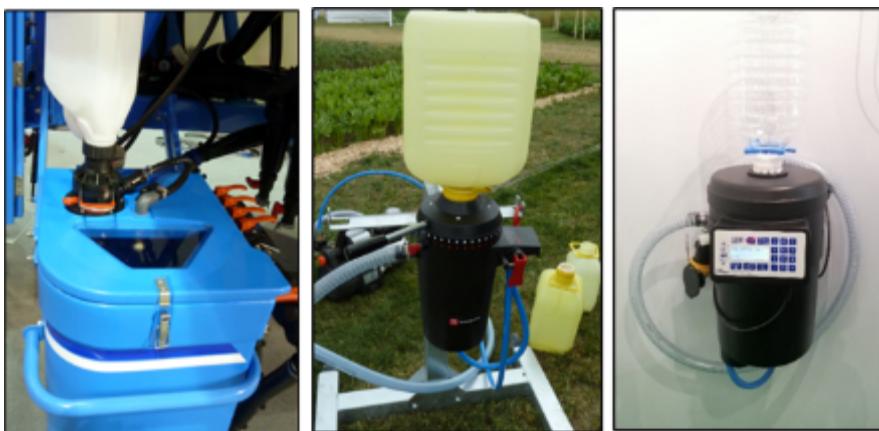


Abbildung 13: Beispiele für geschlossene Befüllsysteme für Pflanzenschutzmittel (von links nach rechts: easy-Flow, Agrotop; Cleanload Nexus; Pentair Hypro; Coupler LeC, Lechler) (Bilder: W. Heller)

3.2.4 Bei der Behandlung

Bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln gilt es im Wesentlichen Wirkstoffverluste durch Abdrift oder Verdunstung zu vermeiden. Durch die Vermeidung bzw. Minimierung des Austrags von Wirkstoffen auf Nicht-Zielflächen (z. B. Gewässer, Feldhecken, Landschaftselemente) wird nicht nur die Umwelt geschont, sondern auch das Wirkungspotenzial der Präparate unterstützt. Für eine optimale und möglichst verlustfreie Pflanzenschutzmittelanwendung müssen einige grundsätzliche Punkte beachtet werden. Nach der guten fachlichen Praxis sind Anwendungen bei Windgeschwindigkeiten über 5 m/sec oder bei Temperaturen über 25 °C und niedriger Luftfeuchtigkeit unbedingt zu vermeiden, weil sie zu Wirkungsminderungen durch Abdrift und Verdunstung führen. Anwendungen in den frühen Vormittags- und späteren Nachmittagsstunden sind aufgrund niedrigerer Temperaturen und höherer Luftfeuchtigkeit günstiger als der Einsatz um die Mittagsstunden. Bei starker Taubildung besteht allerdings die Gefahr, das Spritztropfen ablaufen, was wiederum Wirkungsverluste verursachen kann. Dies sollte bei der Wasseraufwandmenge und dem gewählten Tropfenspektrum berücksichtigt werden. Bei ungünstigen Witterungsbedingungen muss der Spritzdruck unbedingt angepasst werden. Niedriger Druck erzeugt ein gröberes Tropfenspektrum und reduziert die Abdrift. Bei windigem Wetter darf der Abstand der Düsen zur Zielfläche nicht zu hoch sein. Bei 10 cm höherem Zielflächenabstand kann sich die Abdrift verdoppeln (Empfehlung: bei 50 cm Düsenabstand im Gestänge sollte auch der Abstand zur Zielfläche 50 cm betragen). Weitere Risikofaktoren für erhöhte Abdrift sind hohe Fahrgeschwindigkeiten oder falsche Düsenwahl (Abbildung 14). Im Interesse einer gleichmäßigen Quer- und Längsverteilung und abdriftarmer Applikation ist nach der guten fachlichen Praxis eine Fahrgeschwindigkeit von max. 8 km/h zu wählen. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit, in Verbindung mit niedrigen Wasseraufwandmengen steigt die Abdrift überproportional an und damit erhöht sich auch das Anwendungsrisiko. Bei niedrigen Wasseraufwandmengen wird es auch zunehmend schwieriger die notwendige Benetzung für eine ausreichende Wirkung zu gewährleisten – vor allem bei üppigen Pflanzenbeständen.



Abbildung 14: Düsen gibt es in unterschiedlichen Größen und Bauformen. Die richtige Auswahl und der jeweils passende Spritzdruck entscheidet über den Erfolg einer Pflanzenschutzmaßnahme (Bild: W. Heller)

Durch die Verwendung bestmöglicher Applikationstechnik unter Beachtung entsprechend günstiger Anwendungsbedingungen kann die Umweltverträglichkeit von Pflanzenschutzmitteln bei der Anwendung verbessert werden.

Ermittlung der richtigen Düsengröße

Die Auswahl einer geeigneten Düsentechnik für den jeweiligen Einsatzzweck und die sachgerechte Einstellung der Applikationsparameter Wasseraufwand, Fahrgeschwindigkeit und Spritzdruck sind hierbei maßgebend.

Die erforderliche Düsengröße richtet sich nach der gewünschten Wassermenge und der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit. Zusammen mit dem Düsenabstand im Gestänge kann der dafür notwendige Einzeldüsenausstoß berechnet werden.

Wichtige Berechnungsformeln:

Einzeldüsenausstoß (l/min)	=	$\frac{\text{l/ha} \times \text{km/h} \times \text{Düsenabstand (m)}}{600}$
--------------------------------------	---	---

Ausbringmenge (l/ha)	=	$\frac{\text{Einzeldüsenausstoß (l/min)} \times 600}{\text{Geschwindigkeit (km/h)} \times \text{Düsenabstand (m)}}$
--------------------------------	---	---

Anhand des ermittelten Düsenausstoßes (l/min) ergibt sich für jede Düsengröße ein bestimmter notwendiger Spritzdruck. Demzufolge sollte eine Düse gewählt werden, in deren optimalem Druckbereich der so errechnete Spritzdruck liegt (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Tabelle zur Ermittlung der richtigen Düsengröße

Wasseraufwandmenge (l/ha)							Düsen- ausstoß	Düsengröße (nach ISO)						
100	150	200	250	300	400	600		015	02	025	03	04	05	06
Fahrgeschwindigkeit (km/h)							l/min	Spritzdruck (bar)						
9,0	6,0	4,5	3,6	3,0			0,75	4,7	2,6	1,7	1,2			
12,0	8,0	6,0	4,8	4,0	3,0		1,00	8,3	4,7	3,0	2,1	1,2		
15,0	10,0	7,5	6,0	5,0	3,8	2,5	1,25		7,3	4,7	3,3	1,8	1,2	
	12,0	9,0	7,2	6,0	4,5	3,0	1,50			6,8	4,7	2,6	1,7	1,2
	14,0	10,5	8,4	7,0	5,3	3,5	1,75				6,4	3,6	2,3	1,6
	16,0	12,0	9,6	8,0	6,0	4,0	2,00	Düsengröße mit jeweiligem Druck						
		15,0	12,0	10,0	7,5	5,0	2,50							
			14,4	12,0	9,0	6,0	3,00					7,3	4,7	3,3
				16,0	12,0	8,0	4,00						6,8	4,7
														8,3

*Angaben beziehen sich auf einen Düsenabstand im Gestänge von 50 cm.

Lange Injektordüse (z. B. AI, HiSpeed, ID, IDTA, TTI, ...):	Optimaler Druckbereich: 4,0 bis 6,0 (8,0) bar
Kurze Injektordüse: (z. B. AirMix, AIXR, CVI, IDK/IDKN/IDKT, MD, ...)	Optimaler Druckbereich: 2,0 bis 3,5 (4,0) bar

Beispiel: Bei einer Wasseraufwandmenge von 300 l/ha und einer Fahrgeschwindigkeit von 8 km/h ergibt sich ein Einzeldüsenausstoß von 2,0 l/min. Der dafür notwendige Spritzdruck liegt bei einer Düsengröße 05 bei 3,0 bar und damit im optimalen Druckbereich für kurze Injektordüsen. Bei der Verwendung einer Düse in der Größe 04 ist ein Spritzdruck von 4,7 bar notwendig, welcher im geeigneten Druckbereich für lange Injektordüsen liegt. Für grobtropfige und abdriftarme Anwendungen wird bei gleicher Düse Druck und Geschwindigkeit reduziert.

Für die verschiedenen Anwendungsbereiche ist jeweils ein bestimmtes Tropfenspektrum erforderlich. Empfehlungen für bestimmte Maßnahmen sind in nachfolgender Tabelle genannt (Tabelle 6).

Tabelle 6: Empfehlungen zur Tropfengröße und Wasseraufwand für die jeweilig Anwendung

Tropfen- spektrum	Maßnahme	Tropfen- größe	Spritzdruck	Wasser- Aufwandmenge**	Abdrift- gefahr	Bestandes- durch- dringung
fein - mitteltropfig	Herbizide, NAK, Zückerrübe*	fein	hoch	150-200 l/ha		
	Kontakt-Fungizide (Getreide)			250-300 l/ha		
	Ährenbehandlungen*			200 l/ha		
	Nachauflauf-Herbizide (Getreide)	fein-mittel	mittel-hoch	200-250 l/ha		
mittel - grob tropfig	Mais-Nachauflauf-Herbizide			100-200 l/ha		
	Herbizide Vorsaats-/Stoppelanwendung, (Glyphosat)*	mittel	mittel	200-300 l/ha		
	Rapsfungizide (vor der Blüte)	mittel	mittel	300-400 l/ha		
	Fungizidanwendungen (Getreide bis BBCH 39)			> 400 l/ha		
	Insektizide *			250-400 l/ha		
	Wachstumsregler	mittel	mittel			
	Rapsblütenbehandlungen*					
grob tropfig	Kartoffelfungizide*	mittel	mittel			
	Krautabtötung/Sikkation (bestimmte Anwendungen)*	mittel	mittel			
	Bodenherbizide (Vorauslauf Raps/Kart.)	grob	niedrig			

* Die Verwendung von Doppelflachstrahldüsen ist hier empfehlenswert

** Die für die jeweiligen Pflanzenschutzmittel festgesetzten Anwendungsbestimmungen müssen eingehalten werden.

Abdriftminderung durch entsprechende Anwendungstechnik

Die Verwendung von abdriftmindernder Düsentechnik hat zwei Aspekte. Auf der einen Seite sind bestimmte Abdriftminderungsklassen (50 - 90 %) erforderlich, um entsprechende Abstandsauflagen bei Pflanzenschutzmitteln gegenüber Oberflächengewässern und Nicht-Zielflächen einhalten zu können, beziehungsweise um bestimmte Präparate überhaupt einsetzen zu können. Auf der anderen Seite dient es dem aktiven Umweltschutz und unterstützt das Wirkungspotenzial der eingesetzten Mittel.

Das Risiko für Abdrift und Verdunstung bei der Applikation wird neben den Umweltbedingungen (Temperatur, Wind und Luftfeuchtigkeit) wesentlich von der verwendeten Düsentechnik bzw. dem Tropfenspektrum beim Spritzen oder Sprühen beeinflusst. Vor allem der Anteil sehr feiner Tropfen (Tropfen mit einer Größe unter 100 µm) ist stark abdriftgefährdet und muss begrenzt werden. Die Existenzdauer eines 100-µm-Tropfens beträgt bei ungünstiger Witterung nur wenige Sekunden. Durch Luftströmungen und Thermik besteht die Gefahr, dass Wirkstoffe über weite Strecken vom eigentlichen Zielort weg verlagert werden. Durch ein eher feines Tropfenspektrum wird bei der Applikation daher sowohl das Risiko für die direkte Abdrift durch Verlagerung mit der Luftbewegung, als auch die indirekte Abdrift durch Verdunstung des Spritznebels erhöht. Beide Prozesse belasten die Umwelt und vermindern das Wirkungspotenzial der eingesetzten Pflanzenschutzmittel.

Die Verwendung von abdriftmindernd anerkannter Düsentechnik ist daher, unabhängig von den Auflagen der Präparate gegenüber Nicht-Zielflächen, grundsätzlich sinnvoll. Bei der Anwendung von Bodenherbiziden im Voraufverfahren ist auch eine Behandlung mit sehr grobtropfigen Düsen (Abdriftminderung $\geq 90\%$) problemlos möglich. Die jeweils anerkannte Abdriftminderungsklasse wird erreicht, wenn die Düsen ausschließlich entsprechend ihren Verwendungsbestimmungen eingesetzt werden. Unter Anderem sind hier bestimmte Druckbereiche einzuhalten. Ist beispielsweise am Feltrand verlustmindernde Technik mit 90 % Abdriftminderung gefordert, muss dort der Spritzdruck bei der Anwendung entsprechend reduziert und gleichzeitig die Fahrgeschwindigkeit angepasst werden. Die Druckbereiche für die jeweiligen Klassen sind in einschlägigen Düsentabellen einfach abzulesen.

Neuere Düsenentwicklungen konzentrieren sich auf die Eignung in Kombination mit Pulsweitenmodulationssystemen (PWM-Systemen). Zugleich soll eine möglichst hohe Abdriftminderung erreicht werden. Speziell dafür wurden Düsen für diesen Anwendungsfall entwickelt.



Abbildung 15: Neue Düsenbauarten (ohne Injektor), geeignet für PWM-Systeme (Bilder: W. Heller)

Eine vollständige Tabelle mit allen abdriftmindernd anerkannten Düsen (bis mind. 90 % Abdriftminderung) für Flächenkulturen ist im Internet auf der Seite der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (<http://www.lfl.bayern.de/ips/geraetetechnik/>) zu finden. Mit dieser Tabelle kann bei jeder Düse für die gewünschte Wasseraufwandmenge und Fahrgeschwindigkeit der jeweils entsprechend notwendige Spritzdruck ermittelt werden. Weitere Listen mit allen anerkannten abdriftmindernden

Geräten sind auf der Seite des Julius Kühn-Institutes (JKI) verfügbar (<https://wissen.julius-kuehn.de/at-dokumente/pruefung-und-listung/themen/abdrift>).

Verwendung von Randdüsen

Gebräuchliche Pflanzenschutzdüsen arbeiten für eine gute Verteilgenauigkeit mit entsprechender Überlappung und Spritzwinkeln von 110° oder 120° . Dadurch würden sie am Feldrand über die eigentliche Arbeitsbreite hinausspritzen. Durch den Einbau spezieller Randdüsen am äußeren Düsenstock ist es möglich, eine gleichmäßige Applikation bis zum Feldrand zu gewährleisten und dennoch weitgehend die Mitbehandlung der angrenzenden Flächen zu vermeiden. Diese Düsen besitzen einen schmäleren, nach einer Seite gerichteten Spritzwinkel von circa 80° bis 85° und benetzen ausschließlich die relevante Zielfläche (Abbildung 16 und Abbildung 17).

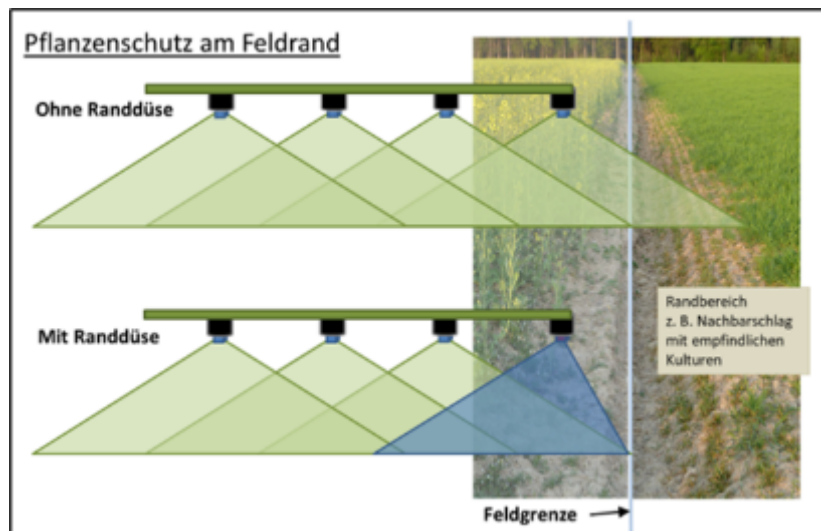


Abbildung 16: Spritztechnik am Feldrand ohne Randdüse (oben) bzw. mit Randdüse (unten)
(Grafik: W. Heller)



Abbildung 17: Randdüsen gibt es von vielen Herstellern in unterschiedlichen Größen (Auswahl),
(Bild: W. Heller)

Durch die Verwendung von anerkannten Randdüsen wird das Überspritzen verhindert. Einträge in angrenzende Flächen oder sensible Gebiete (z. B. Gewässer) werden vermieden. Sind bei der Anwendung bestimmte Abdriftminderungsaufgaben gefordert, müssen die verwendeten Randdüsen auch in der Kombination entsprechend anerkannt sein. Im Verzeichnis verlustmindernder Geräte sind für viele Düsen jeweils auch zugehörige Randdüsen eingetragen (Bezeichnungen der Randdüsen je nach

Hersteller: AirMix OC, IDKS, IS, AIUB, etc.). Randdüsen sind jeweils ein Kaliber kleiner als die Hauptdüse Grundsätzlich ist im Randbereich ein niedrigerer Spritzdruck in Verbindung mit angepasster Geschwindigkeit zu wählen. Außerdem sollte das Gestänge am Feldrand exakt in der Höhe geführt werden. Randdüsen ermöglichen eine randscharfe Behandlung, allerdings sollte im Feldinneren unbedingt wieder auf die normale Düse umgeschaltet werden, damit keine Behandlungslücken entstehen. Eine vom Schlepper aus bedienbare Randdüsenschialtung ist deshalb empfehlenswert (Abbildung 18).



Abbildung 18: Elektrische Randdüsenschialtung als Nachrüstsystem (Bild: Lechler GmbH)

Luftunterstützung

Zur Reduzierung der Abdrift, vor allem bei schwierigen Einsatzbedingungen, können luftunterstützte Systeme eine zusätzliche Alternative sein. Hier wird mit Gebläsen ein gezielter Luftstrom erzeugt, welcher die Spritzflüssigkeit und vor allem feine Tropfen in den Bestand drücken soll. Je nach System können Luftgeschwindigkeit und Winkel des Luftvorhangs verstellt werden. Dadurch kann der Pflanzenbestand geöffnet werden und Tropfen können besser eindringen. Die Vorteile solcher Systeme sind eine gleichmäßigere Benetzung der Pflanzen sowie eine gute Anlagerung. Wasseraufwandmengen können reduziert werden und gleichzeitig wird auch die Abdrift reduziert. Die Systeme sind relativ kostenintensiv und werden von verschiedenen Herstellern angeboten (z. B. Hardy Twin-System, Dammann DAS-System, Agrifac AirFlowPlus-System).



Abbildung 19: Feldspritzen mit luftunterstütztem Spritzgestänge (Bilder: Hardy international A/S, Herbert Dammann GmbH)

Gestängeführung (Distance-Control)

Eine gleichmäßige Gestängeführung über der Zielfläche ist wichtig für die gleichmäßige Verteilung der Spritzbrühe. Je nach verwendeter Düse bzw. Düsenabstand innerhalb des Gestänges sollten bestimmte Abstände zur Zielfläche eingehalten werden. Bei windigem Wetter darf der Abstand der Düsen zur Zielfläche nicht zu hoch sein, denn bei zu hoher Gestängeführung verschlechtert sich die Verteilgenauigkeit und die Abdrift nimmt überproportional zu. Elektronische Abstandssensoren (Distance Control) ermöglichen hier eine exakte Höhenführung auch bei unebenem Gelände (Abbildung 20). Einzelne Hersteller bieten außerdem Nachrüstsyste me für die automatische Gestängeführung an.



Abbildung 20: Sensoren halten das Gestänge exakt über der Zielfläche (Bild: W. Heller)

Ausbringmengen - Überwachung - Durchflussmessung

Bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln muss die ausgebrachte Flüssigkeitsmenge je Flächeneinheit konstant bleiben. Bei sich ändernden Geschwindigkeiten, beispielsweise beim Bergauf- und Bergabfahren, Anfahren sowie Bremsen muss entsprechend nachgeregelt werden. Moderne Pflanzenschutzgeräte überwachen die ausgebrachte Menge über Durchflussmesser und regeln die Geräte bei geänderten Verhältnissen automatisch entsprechend nach und sorgen so für konstante Ausbringmengen.

Pulsweitenmodulations - Systeme zur Mengensteuerung bei gleichbleibendem Tropfenspektrum

Normalerweise wird bei Pflanzenschutzanwendungen die ausgebrachte Menge über die Fahrgeschwindigkeit und den Spritzdruck gesteuert. Durch die Verwendung von sogenannten Pulsweitenmodulations-Systemen (PWM) kann die Ausbringmenge verändert werden, ohne dass sich dabei der Spritzdruck ändert. Damit bleibt auch das Tropfenspektrum weitgehend gleich. Bei PWM-Systemen werden die Düsen mit Magnetventilen abwechselnd an- und ausgeschaltet (je nach Hersteller mit 10 - 50 Hz), dabei kann die anteilige Öffnungszeit (Duty Cycle) beliebig verändert werden. Hiermit lässt sich der Düsenausstoß variieren, ohne den Spritzdruck ändern zu müssen. Der Duty Cycle (DC) entspricht der anteiligen Öffnungszeit der Ventile während der Applikation: Bei DC 100 % sind die Ventile dauerhaft geöffnet. Duty Cycle von weniger als 50 % werden aus Gründen der Verteilgenauigkeit nicht empfohlen. Die Verwendung von Pulsweitenmodulationssystemen kann das Abdriftverhalten der Spritzflüssigkeit allerdings beeinflussen. Die Abdriftminderungsklassen der bekannten Düsen-Eintragungen können daher nicht direkt auf die Verwendung mit PWM-Systemen übertragen werden. Daher gilt in diesen Fällen grundsätzlich die Regelung, dass sich in Verbindung mit JKI- anerkannten PWM-Systemen die Abdriftminderungsklasse um eine Stufe reduziert. D. h. bei einer 90 %- bzw. 75 %-Düse würden dann nur noch 75 % bzw. 50 % Abdriftminderung zum Tragen

kommen. Bei einer 50 % Eintragung ist in Verbindung mit PWM-Systemen keine Abdriftminderungskategorie mehr zugeordnet (Abbildung 21).

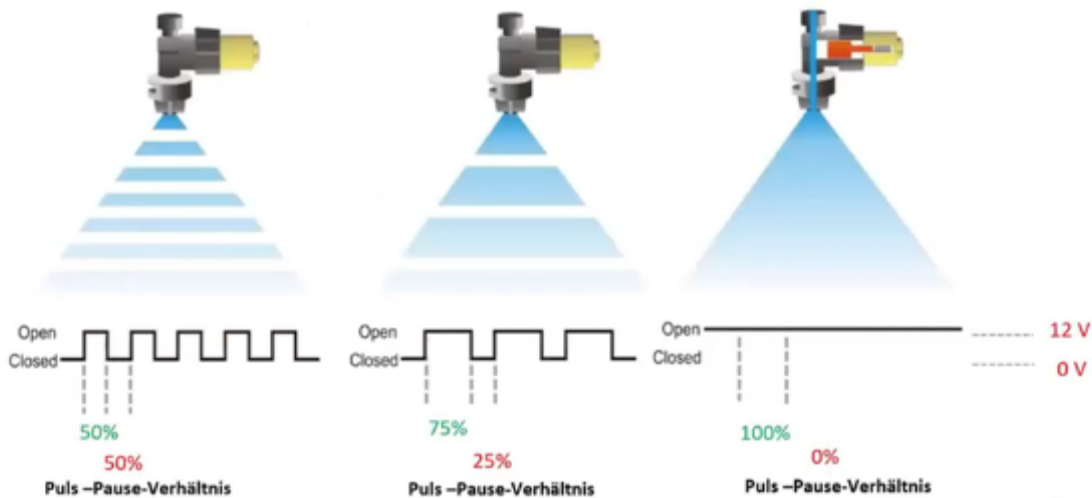


Abbildung 21: Funktionsprinzip der Pulsweitenmodulation zur flexiblen Steuerung der Ausbringungsmenge (Graphik: TeeJet Technologies)

Kurvenkompensation

Bei Kurvenfahrten mit breiten Gestängen kommt es dazu, dass die Ausbringungsmenge im Kurvenäußeren geringer ist und im Kurveninneren entsprechend höher als der gewünschte Sollwert. Dabei kann es je nach Gestängebreite und Kurve zu Abweichungen von 40 – 160 % vom Sollwert kommen. Systeme zur Kurvenkompensation (z. B. Curves Control, Abbildung 22) regeln die gewünschte Ausbringungsmenge in den Kurven entsprechend nach. Dabei können bei einzelnen Teilbreiten unterschiedliche Düsen geschaltet werden (Mehrfachdüsenträger erforderlich) oder die Ausbringungsmenge wird mit PWM-Systemen auf Düsenoberfläche gesteuert.

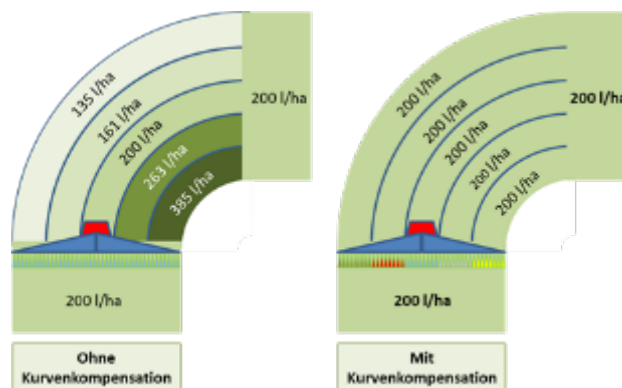


Abbildung 22: Einfluss auf die Ausbringungsmenge bei Kurvenfahrten ohne bzw. mit Kurven-Kompensation (Graphik: W. Heller (verändert nach Dammann))

Automatische Teilbreitenschaltung (Section control)

GPS-gesteuerte Teilbreitenschaltungen können durch selbständiges Ein- und Ausschalten am Vorgehende und auch an spitz zulaufenden Flächen unnötige Doppelbehandlungen verringern und unbehandelte Fehlstellen vermeiden. Eine Applikation auf Flächen ohne Fahrgassen (z. B. Voraufbau, Abspritzen von Mulchsaatflächen) ist damit ebenfalls gut und einfach möglich. Eine GPS-Teilbreitenschaltung bewirkt eine enorme Arbeitserleichterung für den Fahrer und ermöglicht ein Einsparpotenzial von 3 - 5 % der Mittelkosten. Vor allem bei großen Gestängebreiten und ungleichmäßigen Feldstücksformen ist sie eine lohnende Investition. Die höchste Präzision und Mitteleinsparung für die Behandlung von ungleichmäßigen Flächen bieten Einzeldüsenschaltungen.



Abbildung 23: Minimierung von Fehlbehandlungen durch automatisierte Teilbreiten- (links) und Einzeldüsenschaltung (rechts), (Bilder: John Deere, Amazonen-Werke H. Dreyer SE & Co KG)

Automatische Erkennung sensibler Bereiche

Bei Pflanzenschutzmaßnahmen in der Nähe zu Gewässern oder anderen sensiblen Bereichen erfordern die Anwendungen besondere Aufmerksamkeit. Vorgeschriebene Abstände sind zwingend einzuhalten. Nicht immer sind die geforderten Abstände bekannt. In Verbindung mit entsprechenden Applikationskarten können bestimmte Teilflächen in Gewässernähe definiert und vom Gerät automatisch erkannt werden. Bei der Anwendung wird dann auf relevanten Flächen gezielt mit verlustmindernder Technik behandelt oder Randstreifen am Gewässerrand werden von der Behandlung automatisch ausgespart. Ergänzend dazu sind entsprechende Farm-Managementsysteme wie OPAL ([Optimierter Pflanzenschutz](#)) oder PAM ([Pflanzenschutz-Anwendungsmanager](#)) zur Erstellung der Behandlungskulissen bzw. Applikationskarten kurz vor der Marktreife.

Teilflächenbehandlung – Spot-Spraying

Üblicherweise werden Pflanzenschutzmaßnahmen auf der Gesamtfläche einer Kultur angewendet. Moderne Sensoren ermöglichen es inzwischen, bestimmte Zielflächen bzw. Zielobjekte während der Behandlung zu erkennen und nur diese zu behandeln. So können beispielsweise einzelne Unkräuter bzw. Unkrautdichten erkannt und gezielt bekämpft werden. Alternativ können über drohnenbasierte Unkrauterkennungssysteme entsprechende Applikationskarten erstellt werden, welche dann anschließend auf die Feldspritze übertragen werden. Die Spritze appliziert dann nur noch dort, wo auch entsprechend Zielpflanzen vorhanden sind bzw. nur dort wo Pflanzenschutzmitteln benötigt werden. Dabei sind je nach Heterogenität und Besatzdichte enorme Pflanzenschutzmittel-Einsparungen gegenüber der Flächenbehandlung möglich. Die Erkennungsgenauigkeit der bereits verfügbaren Systeme geht inzwischen über die Unterscheidung von Kulturpflanzen gegenüber Unkräutern hinaus und kann auch artspezifisch verschiedene Leitunkräuter erkennen. Zur Umsetzung einer präzisen Teilflächenbehandlung werden Spritzgeräte benötigt, die kleinräumig bis zur Einzeldüse die Applikation

regeln und zwei oder mehr unterschiedliche Behandlungen gleichzeitig umsetzen können. Hierfür werden Feldspritzen mit mehreren Spritzbehältern oder Direkteinspeise-Systeme benötigt. Ein ebenfalls teilflächenspezifisches Behandlungskonzept ist die Bandbehandlung bei Reienkulturen. Auch dieses Verfahren kann mit sensorgesteuerter Spot-Spraytechnik kombiniert werden und ermöglicht so eine weitere Mitteleinsparung gegenüber der konventionellen Flächenbehandlung.

Ein weiterer Schritt in der Teilflächenbehandlung wäre die Ausbringung von Fungiziden oder auch Insektiziden im Verhältnis zu einem kleinräumig unterschiedlichen Befall der Krankheitserreger und Schädlinge. Diese Verfahren sind jedoch nur bei einem frühzeitigen und noch flächenspezifischen Befall sinnvoll anwendbar. Die Applikation ist auf eine Sensorerkennung im Online-Verfahren auf den jeweiligen Spritzgeräten angewiesen, was bei Krankheits- bzw. Schädlingsbefall derzeit noch sehr schwer realisierbar ist.

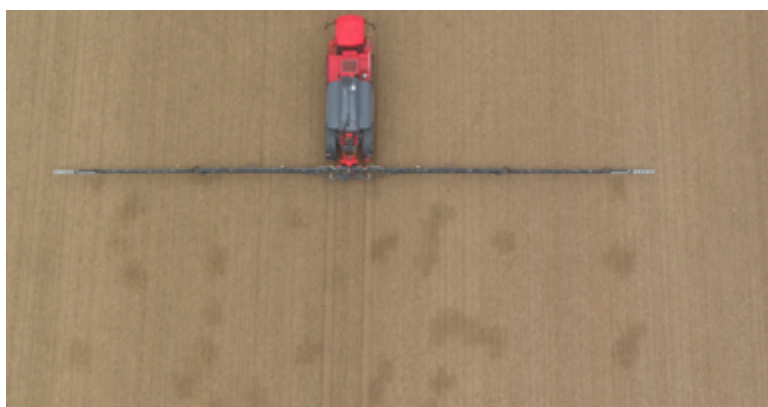


Abbildung 24: Sensorgesteuerte Pflanzenschutzspritze zur Einzelpflanzenbehandlung (Bild: Horsch Maschinen GmbH)

3.2.5 Nach der Behandlung

Reinigung von Pflanzenschutzgeräten

Reinigungssysteme für Pflanzenschutzgeräte zur Reinigung auf der Behandlungsfläche

Nach jeder Pflanzenschutzmaßnahme sollte - noch bevor Spritzmittelreste antrocknen können – die Behälterinnenreinigung durchgeführt werden. Wenn die Spritze leer ist, wird Klarwasser über eingebaute Reinigungsdüsen zur Behälterreinigung in den Tank gespült. Dadurch erfolgt eine Verdünnung der technischen Restmenge. Anschließend wird die verdünnte Flüssigkeit gründlich im Gerät umgewälzt. Dazu sollten relevante Schalthähne und Ventile kurzzeitig betätigt werden, sodass sämtliche flüssigkeitsführenden Leitungen entsprechend gespült werden. Anschließend wird die Spülflüssigkeit über die Spritzdüsen auf der verbliebenen unbehandelten Fläche ausgebracht.

Für eine zufriedenstellende Reinigungsleistung muss die zur Verfügung stehende Klarwassermenge in mindestens 3 Teilmengen aufgeteilt werden und die Reinigung wie beschrieben mehrfach durchgeführt werden. Die Einspülschleuse muss ebenfalls in den Reinigungsprozess mit eingebunden werden. Hier empfiehlt es sich, bereits bei der letzten Befüllung diese mit Klarwasser entsprechend zu reinigen.

Moderne Pflanzenschutzgeräte haben automatische Reinigungssysteme im Gerät integriert, welche die Reinigung selbständig durchführen können. Dabei werden sämtliche Leitungen und Schalthähne

bestmöglich gereinigt. Die Spülflüssigkeit muss anschließend auf der Behandlungsfläche ausgespritzt werden.

Kontinuierliche Innenreinigung

Bei der sogenannten kontinuierlichen Innenreinigung erfolgt die Reinigung durch eine zusätzliche zweite Reinigungspumpe, welche ausschließlich Klarwasser aus dem Frischwasserbehälter durch spezielle Innenreinigungsdüsen in den Behälter spritzt und diesen dadurch reinigt. Gleichzeitig wird die Spülflüssigkeit mit der vorhandenen Spritzpumpe über das Gestänge wieder ausgebracht. Statt des mehrfachen Verdünnens der Spritzbrühe, wird bei der kontinuierlichen Innenreinigung die technisch bedingte Restmenge durch das Klarwasser praktisch herausgedrückt. Durch dieses Verfahren lassen sich Pflanzenschutzgeräte mit erheblich weniger Zeit- und Wasseraufwand säubern. Eine verbesserte Reinigungsleistung sowie eine zweckmäßige Verwertung der Restmengen sind weitere Vorteile. Für ältere Geräte besteht die Möglichkeit die kontinuierliche Innenreinigung auch nachzurüsten. Verschiedene Hersteller bieten dazu entsprechende Nachrüst-Kits an.

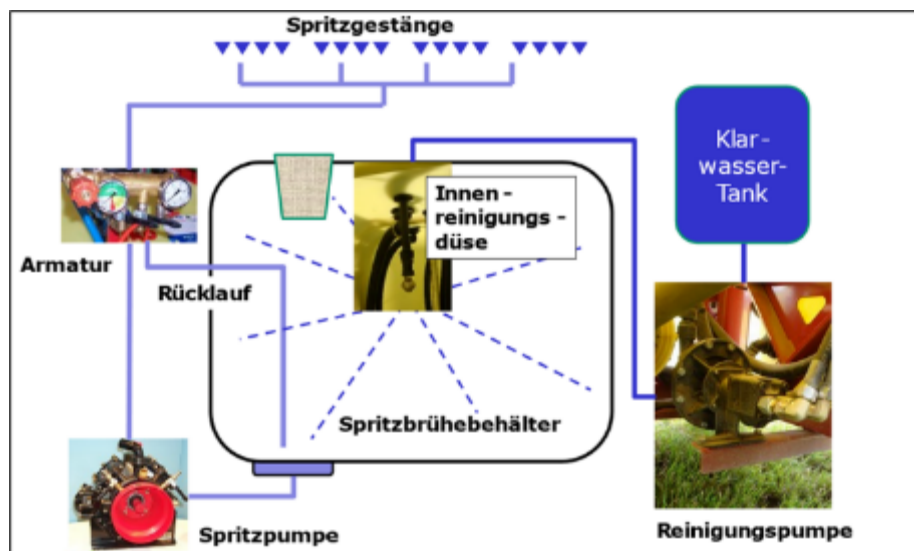


Abbildung 25: Ablaufschema für die kontinuierliche Innenreinigung (Quelle: W.Heller)

Außenreinigung auf dem Feld oder auf geeigneten Plätzen durchführen

Bei Spritzeinsätzen kommen Pflanzenschutzgeräte und auch der Schlepper teilweise mit Pflanzenschutzmitteln in Berührung. Besonders beim Einsatz von Sprühgeräten oder bei der Verwendung von feintropfigen und nicht abdriftmindernden Düsen wird dabei eine nicht unerhebliche Menge an Wirkstoffen am Schlepper und den Geräten angelagert. Deshalb müssen die Maschinen von Zeit zu Zeit auch außen gereinigt werden. Diese Reinigung erfolgt am effektivsten direkt nach dem Einsatz, noch bevor die Mittel fest angetrocknet sind, auf der Behandlungsfläche. Separat angetriebene Geräte, wie zum Beispiel ein angebauter Hochdruckreiniger bringen hier sehr gute Reinigungsleistungen. Falls die Geräte mit einer zusätzlichen Pumpe für die kontinuierliche Innenreinigung nachgerüstet werden, gibt es hier die Möglichkeit einen zusätzlichen Anschluss für eine Waschpistole vorzusehen, welcher dann ausschließlich mit Klarwasser betrieben werden kann.

Nach der Pflanzenschutz-Saison zur Einwinterung oder vor Wartungs- bzw. Reparaturarbeiten müssen Pflanzenschutzgeräte besonders gründlich gereinigt werden. Sofern dies nicht auf der

Behandlungsfläche ausreichend erfolgen kann, sollte dies nur auf speziellen geeigneten Plätzen durchgeführt werden (Abbildung 26, siehe auch Kapitel 3.2.3 Vor der Anwendung – Geeignete Plätze für die Befüllung von Pflanzenschutzgeräten).

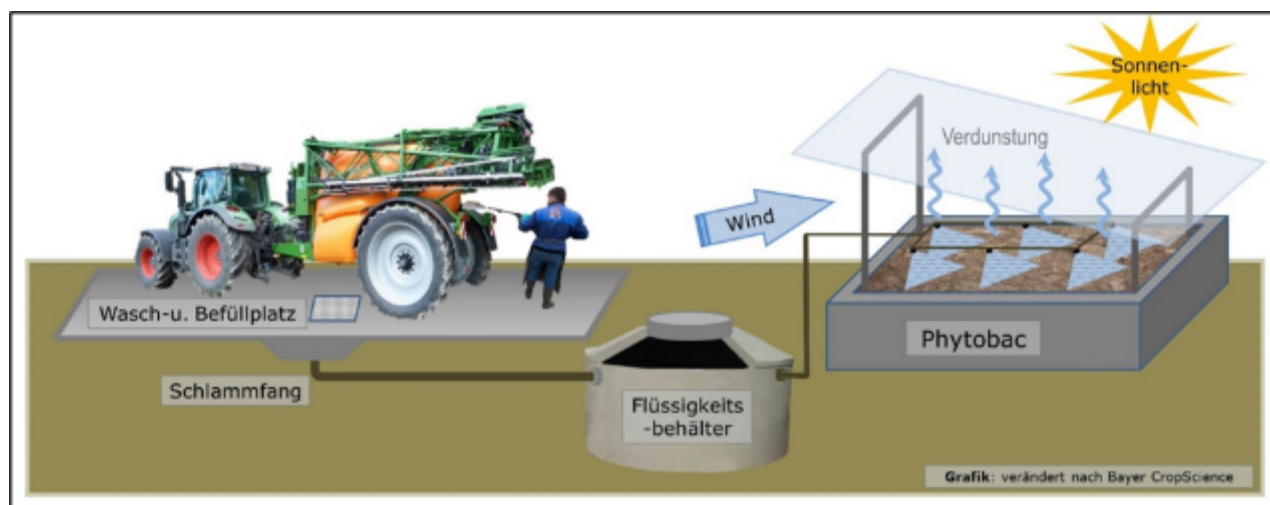


Abbildung 26: Beispielhafter Aufbau eines umweltgerechten Wasch- und Befüllplatzes für Pflanzenschutzgeräte. Zur Minimierung der anfallenden Restflüssigkeiten ist eine Überdachung empfehlenswert.

Biologische Reinigungssysteme für Pflanzenschutz-Restflüssigkeiten

Mit biologischen Reinigungssystemen, wie beispielsweise dem Phytobac-System (Abbildung 27), können Restflüssigkeiten aus Pflanzenschutzanwendungen auf verantwortungsvolle Weise entsorgt werden, ohne dabei Oberflächengewässer oder andere Nicht-Zielflächen zu verunreinigen. Das Prinzip dieses Systems beruht auf der Wirkung von aktivem Bodenleben. Die gesammelten Flüssigkeiten werden auf einem Gemisch aus Stroh und Ackerboden gleichmäßig verrieselt. Durch die im Substrat vorhandenen Mikroorganismen werden dann die Pflanzenschutzmittelwirkstoffe abgebaut. Ein Feuchtesensor im Bodensubstrat misst die Bodenfeuchte und regelt so die Verrieselung, damit für die Mikroorganismen immer optimale Bedingungen herrschen und damit auch hohe Abbauraten gewährleistet werden. Eine Überdachung schützt das System vor übermäßigem Regenwasser.



Abbildung 27: Beispiel einer Phytobac-Anlage (Bild: W. Heller)

3.3 Empfehlungen zur Verringerung des Risikopotenzials von Gewässerbelastungen

Die Belastung von Gewässern durch Pflanzenschutzmittel kann auf vielfältige Weise erfolgen, wobei die einzelnen Eintragspfade auch unterschiedlich vom Anwender beeinflusst werden können. Punkteinträge, z. B. durch Hofabläufe, können bei sachgerechter Anwendung vollständig verhindert werden. Eine diffuse Belastung durch Abdrift bei der Anwendung kann durch verschiedene technische und organisatorische Maßnahmen deutlich vermindert werden. Sobald Pflanzenschutzmittel ausgebracht wurden, unterliegen sie auf der Behandlungsfläche noch weiteren, wesentlichen Austragsrisiken durch Abschwemmung oder Versickerung. Die Reduzierung von diffusen Einträgen ist ortsspezifisch und abhängig von unkontrollierbaren Faktoren wie den Wetterbedingungen und ihren Interaktionen mit dem Boden sowie von der Landschaftsform des Einzugsgebietes. Die spezifischen Eigenschaften des Wassereinzugsgebietes und der einzelnen Felder sind ausschlaggebend. Reduzierungsmaßnahmen müssen deshalb nach den Bedingungen des einzelnen Landwirts (auf Feldebene) und einer Gruppe von Landwirten, die im selben Gebiet tätig sind, (Einzugsgebietsebene) ausgerichtet werden. Diffuse Einträge können effektiv reduziert werden, aber extreme Wetterbedingungen können zumindest in Einzelfällen das Risikominderungspotenzial von sachgerechten Schutzmaßnahmen übersteigen.

Die Herausforderung besteht darin, ein Risikominderungspotenzial zu ermitteln, das an die durchschnittlichen regionalen Witterungsbedingungen angepasst ist. Extreme Unwetterereignisse (z. B. mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit einmal in 50 Jahren) können nicht die Basis für die Anwendung von Vermeidungsmaßnahmen sein. Im Sinne eines Vorsorgeprinzips gilt es dennoch potenzielle Belastungen durch Abschwemmung und Versickerung durch standortspezifische Risikominderungsmaßnahmen so weit wie möglich zu verringern.

3.3.1 Abschwemmung und Erosion

In Folge von ungünstigen Witterungsereignissen können Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe von der Behandlungsfläche durch „Run-off“ bzw. Abschwemmung in wässriger Lösung oder durch Erosion als Austrag von an Bodenpartikel gebundenen Wirkstoffen auf Nicht-Zielflächen oder in Oberflächengewässer verfrachtet werden. Der Austrag von mit PSM belastetem Sickerwasser über Drainagesysteme oder als Zwischenschichten-Abfluss ist eine Sonderform von Run-off, die eine jahreszeitliche und flächenspezifische Bedeutung haben kann.

Run-off-Ereignisse sind sehr komplexe Prozesse aus dem Zusammenwirken von Standortfaktoren, Anbaubedingungen und Witterungsereignissen. Es sind zudem dynamische Vorgänge, je nach Intensität des Niederschlagsereignisses, mit unauffälligem Wasserabfluss bis hin zu massiven Erosionsereignissen. Aus produktionstechnischer Sicht besteht ein relativ hohes Risiko für Run-off bei Anwendungen auf frisch bearbeiteten Böden – zum Beispiel bei der Herbizidbehandlung im Voraufbauverfahren – und nachfolgenden, stärkeren Niederschlägen. Grundsätzlich sind frühzeitig in der Entwicklung der Kulturen durchgeführte Herbizidbehandlungen stärker vom Austragsrisiko durch Run-off betroffen als spätere Fungizid- oder Insektizidbehandlungen, weil die Entwicklung des Kulturbestandes eine Schutzfunktion für Abschwemmung und Erosion darstellt.

Unabhängig von den Bedingungen im Einzelfall verschiedener Anwendungen werden von der Umweltverwaltung in Oberflächengewässern regelmäßig eine Vielzahl von Wirkstoffen nachgewiesen, die im Einzugsgebiet der Gewässer angewendet werden. Run-off ist daher kein außergewöhnliches Ereignis, sondern findet in unterschiedlicher Intensität bei entsprechenden Niederschlagsereignissen regelmäßig statt.

Vorbeugende Maßnahmen zur Verringerung des Run-off-Risikos dienen nicht nur dem aktiven Umweltschutz. Letztlich dient die Zurückhaltung von Wasser auf der Ackerfläche auch direkt der

Entwicklung der angebauten Kulturen und ist im Rahmen der klimatischen Veränderungen eine wichtige produktionstechnische Maßnahme.



Abbildung 28: Abflussrinnen nach einem mittleren Niederschlagsereignis in einem Maisfeld (links) und Oberflächenabfluss im Detail (rechts), (Bilder: K. Gehring)

Faktoren für den PSM-Austrag durch Run-off

Die wesentlichen Faktoren für das Risiko von Run-off können in drei Hauptgruppen unterteilt werden:

- 1) Standort-/Bodeneigenschaften
- 2) Werkstoffeigenschaften der Präparate
- 3) Anbauverfahren/-technik

Die feststehenden Standortfaktoren wie Niederschlagshöhe, Bodenart, -struktur, Hangneigung und -länge bestimmen die grundsätzliche Erosionsanfälligkeit und damit auch das Run-off-Risiko auf regionaler Ebene (Abbildung 28). Die grundsätzliche Höhe des regionalen Erosionsrisikos ist jedoch kein absoluter Maßstab für das Risiko der PSM-Belastung in Gewässern. Hinsichtlich einer potenziellen Gewässerbelastung ist die Verbindung der Ackerfläche mit Oberflächengewässern ausschlaggebend. Je größer die Distanz eines behandelten Feldes zum Oberflächengewässer ist, desto geringer ist das Risiko eines PSM-Transfers durch Run-off bzw. Erosion. Neben der reinen Distanz zum Oberflächengewässer sind auch die Geschwindigkeit des abfließenden Wassers und die auftretenden Wassermassen in Folge von konzentriertem Run-off (z. B. Abfluss über Straßen, Wege, Rohrleitungen, Gräben) ausschlaggebend. Daher können auch Flächen, die nicht direkt an ein Oberflächengewässer angrenzen, ein erhebliches Run-off-Risiko besitzen.

Zur Orientierung kann beachtet werden, dass Ackerflächen mit einer Einstufung in K_{Wasser} 1 oder 2, die an Oberflächengewässer angrenzen oder von denen die Möglichkeit von Wasserabfluss in Oberflächengewässer besteht, ein Run-off-Risiko besitzen. Auf diesen Flächen sollten anbautechnische Maßnahmen zum vorbeugenden Schutz vor PSM-Austrag in Gewässer ergriffen werden.

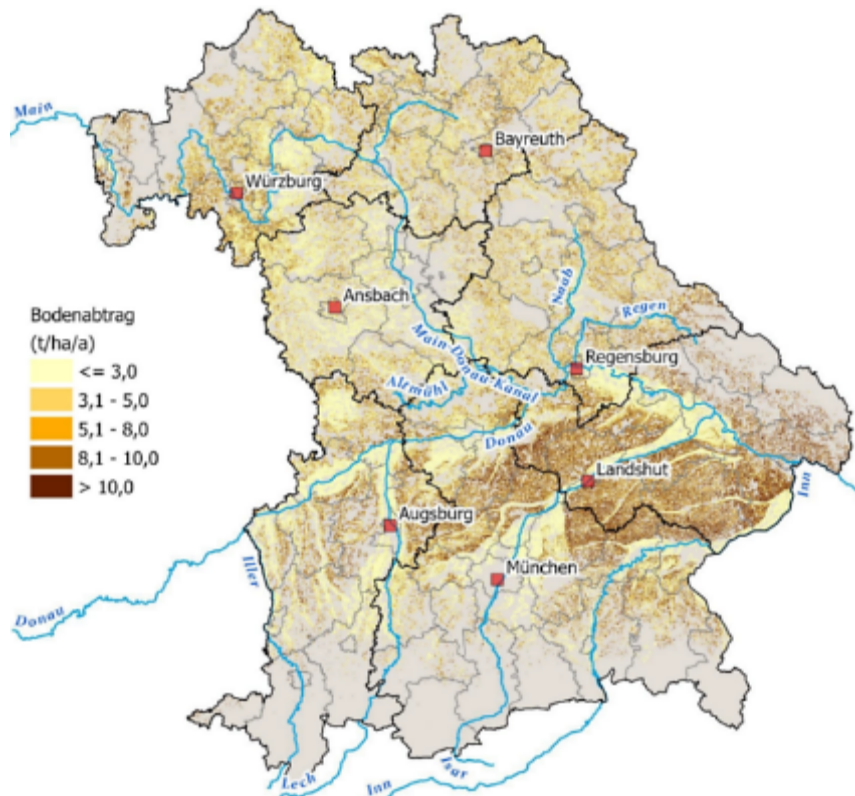


Abbildung 29: Erosionsatlas Bayern 2022 – mittlerer, langjähriger Bodenabtrag der Ackerflächen (Quelle: Melanie Treisch, LfL)

Beim Zulassungsverfahren für PSM wird die Auswirkung auf aquatische Organismen und die Wasserqualität geprüft. Risiken, die mit der Anwendung dieser Mittel verbunden sind, werden bewertet und können zu einer Nichterteilung der Zulassung führen oder es werden entsprechende Auflagen für den Einsatz der PSM erlassen. Ausschlaggebende Eigenschaften sind die Persistenz und Mobilität der Wirkstoffe im Boden.

Die Persistenz bzw. Stabilität im Boden hängt von der wirkstoffspezifischen Abbaugeschwindigkeit ab und wird gewöhnlich als Halbwertszeit (DT_{50}) ausgedrückt. Dies entspricht der durchschnittlichen Dauer für einen 50-prozentigen Abbau der aktiven Substanzen im Boden. Die Abbaurate wird durch den Gehalt an organischer Substanz (C_{org}) bzw. Humus, Tongehalt, pH-Wert und die Wetterbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit) beeinflusst. Die Persistenz eines Wirkstoffs ist daher keine feststehende Größe, sondern wird von Standorteigenschaften, insbesondere der spezifischen mikrobiellen Aktivität, beeinflusst. Wirkstoffe mit höherer Persistenz verbleiben jedoch für einen längeren Zeitraum in relativ hoher Konzentration im Oberboden und sind somit in einem höheren Ausmaß für die Verlagerung durch Run-off und Erosion in Oberflächengewässer gefährdet.

Der Austrag von PSM durch Run-off hängt von der Wirkstoffverteilung im Boden, vor allem von der Adsorption (Anlagerung) und dem Abbau im Boden ab. Als Maßstab für das Bindungsverhalten dient der Adsorptionskoeffizient (K_{oc}). Wirkstoffe, die stark an Bodenbestandteile adsorbiert sind, können nur durch Erosion von Bodensedimenten in einem signifikanten Ausmaß in Oberflächenwasser eingetragen werden. Auf der anderen Seite werden PSM-Wirkstoffe mit einer hohen Wasserlöslichkeit vor allem durch Run-off verlagert. In der Regel besteht ein gewisser Zusammenhang zwischen der Wasserlöslichkeit und dem Adsorptionsverhalten, indem hoch wasserlösliche Wirkstoffe ein eher geringes Bindungsverhalten an Bodenpartikel aufweisen (Tabelle 7). In der Folge von Starkniederschlagsereignissen können im Oberboden vorhandene Wirkstoffe sowohl in Wasser gelöst als auch an Bodenpartikel gebunden in Gewässer ausgetragen werden.

Wirkstoffe, für die im Zulassungsverfahren eine noch akzeptable Konzentration (PEC) durch diffuse Einträge in Gewässer überschritten wird, können nicht zugelassen werden. Die Einhaltung einer wirkstoffspezifischen PEC kann durch Anpassung der eingesetzten Aufwandmenge oder durch geeignete Anwendungsbestimmungen erreicht werden. Präparatespezifische Auflagen für den Schutzbereich Wasser werden mit „NG“ (Naturhaushalt Grundwasser) und „NW“ (Naturhaushalt Wasserorganismen) bezeichnet. Die verbindlichen Auflagen, die auf den Gebrauchsanleitungen genannt werden, müssen als wesentlicher Teil einer Strategie zur Reduzierung der Belastung von Oberflächengewässern betrachtet werden. Im Sinne einer guten fachlichen Praxis ist es sinnvoll, auf Flächen mit einem Eintragsrisiko in Gewässer Präparate zu bevorzugen, die keine oder nur geringe NG- bzw. NW-Auflagen besitzen.

Im Bereich der verschiedenen Anbauverfahren und -techniken sind es insbesondere die Faktoren Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Pflanzenschutzmittel-Einsatzintensität, die einen direkten Einfluss auf das Risiko für Gewässerbelastungen haben. Hinsichtlich Fruchtfolge ist vor allem die Standortwahl für bestimmte Kulturen relevant. Für Reihenkulturen, die evtl. auch noch gehackt werden, sind erosionsanfällige, hängige Flächen nicht geeignet. Bei der Bodenbearbeitung kommt es auf eine strukturschonende Bearbeitung an, die eine gute Wasseraufnahmefähigkeit gewährleistet. Das Mulchsaatverfahren ist hierbei eine Schlüsseltechnologie, die in Kombination mit einer schützenden Bodenbedeckung die Wasseraufnahme fördert und das Erosionsrisiko vermindert. Auf stark erosionsgefährdeten Standorten wäre sogar das Direktsaatverfahren das probate Anbauverfahren hinsichtlich eines vorbeugenden Gewässerschutzes. Ein gezielter, sparsamer Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduziert proportional einen möglichen Austrag von Wirkstoffen. In gleicher Weise kann der alternative Einsatz von Präparaten mit einem relativ niedrigen Wirkstoffgehalt das Risiko von Gewässerbelastungen vermindern.

Tabelle 7: Mobilität von Getreide-Herbizid-Wirkstoffen im Boden im Verhältnis zur Wasserlöslichkeit und Bodenadsorption

Wirkstoff	Wasserlöslichkeit (mg/l)	Bodenadsorption K_{OC} (l/kg)	Mobilität
Picolinafen	0,1	28300,0	immobil
Fluroxypyr	0,1	19550,0	
Pendimethalin	0,3	17581,0	
Diflufenican	0,1	4457,0	gering
Prosulfocarb	13,0	1647,0	niedrig
Beflubutamid	3,0	1260,0	
Carfentrazone	22,0	866,0	
Flufenacet	56,0	401,0	mittel
Pinoxaden	200,0	323,0	
Chlortoluron	74,0	175,0	
Mecoprop-P	860,0	151,0	
Mesosulfuron	483,0	92,0	hoch
MCPA	29390,0	74,0	
Penoxsulam	408,0	73,0	
Metsulfuron	2790,0	57,0	
Iodosulfuron	25000,0	50,0	
Dichlorprop-P	590,0	44,0	sehr hoch
Tribenuron	2040,0	35,0	
Amidosulfuron	3070,0	29,0	
Flupyrsulfuron	0,6	28,0	
Thifensulfuron	2240,0	28,0	
Florasulam	6360,0	22,0	
Bifenox	0,1	7,0	
Tritosulfuron	78,0	7,0	
Clopyralid	143000,0	5,0	
Clodinafop	4,0	1,5	

Quellen: Europäische Kommission, University of Hertfordshire – Pesticide Properties Database, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL)

Risikobewertung und Risikominderung

Aus produktionstechnischer Sicht sollten auf erosionsanfälligen Flächen bzw. Standorten (K_{Wasser} 1 oder 2) grundsätzlich vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden, um das Risiko von Run-off und Erosion zu vermindern. Mit den fachrechtlichen Vorgaben von Gewässerrandstreifen und Anwendungsbestimmungen der verschiedenen Präparate ist eine gewisse Risikominderung bereits vorgegeben. Hier soll allerdings über das Mindestmaß der guten fachlichen Praxis hinausgegangen werden. Nach bester fachlicher Praxis ist das Run-off Risiko für den einzelnen Standort in einem Gewässer-einzugsgebiet zu bewerten und sind nach Bedarf entsprechende Maßnahmen zur Risikominderung vorzunehmen. Anhand einer systematischen Flächenbewertung durch die Fachberatung können in einem Einzugsgebiet ggf. besondere Risikoflächen identifiziert werden und kann das Belastungsrisiko durch gezielte Maßnahmen effektiv reduziert werden.



*Abbildung 30: Run-off aufgrund begrenzter Infiltration mit Bildung von Erosionsrinnen
(Bild: K. Gehring)*

Auf der Basis von wissenschaftlichen Erkenntnissen wurde im Projekt TOPPS-Prowadis (https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/kooperationen/dateien/handbuch_topps-prowadis-empfehlungen_teil_2_abdrift_lfl-kooperation.pdf) ein praxistaugliches und systematisches Risiko-Bewertungsverfahren für Run-off bei eingeschränkter Wasser-Infiltration (Abbildung 30), Wasser-Übersättigung und bei einem konzentrierten Wasserablauf entwickelt. In der Tabelle 8 sind diese Bewertungsverfahren pragmatisch zusammengefasst. Anhand der einzelnen Faktorausprägungen dieses Schemas kann das relative Run-off Risiko einer Fläche schnell und einfach beurteilt werden. Je häufiger bei einzelnen Faktoren ein hohes Risiko vorliegt, um so intensivere Maßnahmen sind zur Minderung dieser erforderlich. Unter bestimmten Situationen kann bereits ein Risiko-Faktor von ausschlaggebender Bedeutung sein. Ein kritisches Praxisbeispiel ist ein stark zu Verschlammung neigender Oberboden, der für eine Ansaat sehr fein bearbeitet wurde. Bei der Anwendung von Herbiziden im Vor- oder sehr frühen Nachauflauf können auch durchschnittliche Niederschläge unter diesen Bedingungen zum Austrag von Wirkstoffen durch Run-off in angrenzende Gewässer führen. Für die Risikobewertung sind daher auch langjährige Erfahrungen mit den verschiedenen Standorten sehr hilfreich.

Tabelle 8: Bewertung des Run-off Risikos auf Flächenebene

Faktor	Risiko		
	niedrig		hoch
	Faktorausprägung		
Feld-Verbindung zu Gewässer	keine	indirekt, Ablauf möglich	direkt angrenzend
Oberboden Durchlässigkeit	hoch	mittel	gering
Hangneigung	< 2 %	2 - 5 %	> 5 %
Drainage	ja		nein
Pflugsohle bzw. Verdichtungsazonen	keine	gering	ausgeprägt
Feldkapazität bzw. Wasserhaltefähigkeit	hoch, > 120 mm		niedrig, < 120 mm
Konzentrierter Ablauf	nur selten, in Rinnen/Rillen		häufig, mit z.T. Grabenerosion
Pufferstreifen	breit, mit hoher Rückhalteleistung		schmal, mit geringer Rückhalteleistung

Quelle: In Anlehnung an F. Bauer et al. - TOPPS-Prowadis, 2021

Maßnahmen zur Verringerung des Run-off Risikos

Die Eindämmung von Run-off ist eine komplexe Angelegenheit. Allgemeine Empfehlungen lassen sich nur schwer aussprechen, da bei der Analyse viele Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind. Im Sinne eines nachhaltigen und umfassenden Gewässerschutzes ist es empfehlenswert, die vorstehende Risikobewertung mit Hilfe einer Fachberatung im gesamten Gewässer-Einzugsgebiet vorzunehmen und die Umsetzung von Maßnahmen ebenfalls als Gesamtkonzept in Abstimmung mit den einzelnen Flächenbewirtschaftern umzusetzen.

Nach der Bestimmung des schlagspezifischen Risikopotenzials gilt es, geeignete Minderungsmaßnahmen zu wählen, die in den landwirtschaftlichen Kontext des Einzugsgebiets passen (vorrangige Produktionsorientierung, angewandte Verfahren). Bei speziellen infrastrukturellen oder auch schlag-spezifischen Maßnahmen sollten zudem Förderungsmöglichkeiten im Rahmen von Umweltschutzprogrammen geprüft werden. Die Darstellung der Maßnahmen in Kartenform (z. B. Pufferstreifen, Rückhaltesysteme, existierende Risikominderungssysteme, Wassertransfer im Einzugsgebiet) erleichtert die rückblickende Bewertung der Effizienz von einzelnen Maßnahmen und unterstützt die bei Bedarf notwendige Weiterentwicklung von Schutzkonzepten.

Tabelle 9: Mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Risikos von Gewässerbelastungen durch Run-off (Quelle: In Anlehnung an TOPPS-Provadis)

Maßnahmenbereich	Umsetzung
Bodenbearbeitung, -pflege	• Intensität der Bodenbearbeitung begrenzen; gezogene gegenüber angetriebenen Geräten bevorzugen • Unterbodenverdichtungen vermeiden bzw. aufbrechen • Bearbeitung quer zum Hang (soweit möglich) • Grobe bzw. möglichst raue Saatbettbereitung • Oberbodenverdichtungen vermeiden • Anlage von Mikro-Dämmen im Kartoffelbau • Fahrgassen in Gefällerrichtung vermeiden bzw. darauf verzichten • Verbesserung der Bodenstruktur durch Zwischenfruchtanbau und reduzierter Bodenbearbeitung
Anbauverfahren	• Mulchsaatverfahren bevorzugen • Direktsaatverfahren auf Flächen mit starker Hangneigung • Kulturwechsel/Streifenanbau zur Abflussbegrenzung • Mehrjährige Zwischenfrüchte in Dauerkulturen • Verbreiterung des Vorgewendes am Hangfuß • Erhöhung der Saatstärke/Bestandesdichte • Ein- und Untersaaten in Reihenkulturen • Mischkulturanbau
Puffer-/Gewässerrandstreifen	• Dauerhafte, zonierte Pufferstreifen am Feld- bzw. Gewässerrand • Begrünte Pufferstreifen entlang der Hanglinien oder im Verlauf von Gefällelinien („Talwegpuffer“) • Anlage und Pflege von Feldgehölzen und Hecken
Rückhaltesysteme	• Erdwälle/Faschinen am Feldrand zum Schutz vor konzentriertem Ablauf • Bewachsene Uferzone am Gewässerrand • Anlage von künstlichen Rückhaltebecken/Feuchtgebieten im Ablaufbereich von Geländestrukturen
Angepasster Einsatz von Pflanzenschutzmitteln	• Anwendungen von Herbiziden im Voraufbau oder sehr frühen Nachaufbau insbesondere in Reihenkulturen soweit möglich vermeiden • Anwendung unmittelbar vor Starkregenereignissen vermeiden • Präparate bzw. Wirkstoffe mit geringem Abschwemmungsrisiko bevorzugen • Alternative, nicht-chemische Pflanzenschutzmaßnahmen nutzen bzw. bevorzugen
Bewässerung	• Optimierung von Bewässerungszeitpunkt, -häufigkeit und ausgebrachter Wassermenge • Verschlammung der Bodenoberfläche verhindern • Wasseraufnahmekapazität fördern

Die Wirksamkeit einer Maßnahme lässt sich nicht allgemein bewerten und ist stark abhängig von der jeweiligen Situation des Einzugsgebiets und des betreffenden Feldes. Das wichtigste Ziel ist, das Niederschlagswasser innerhalb der Fläche zu halten. Maßnahmen, die Oberflächenabfluss vermeiden, haben daher Priorität. Diese Vorgabe bestimmt die Auswahl und die Zusammenstellung der geeigneten Maßnahmen. Bei einer konsequenten Risikominderungsstrategie sind die Maßnahmen nach den bei der Diagnose erkannten Risiken auszuwählen. So können bei geringem Risiko schon wenige Maßnahmen ausreichen; bei einem hohen Risiko hingegen müssen eventuell alle verfügbaren Möglichkeiten angewendet werden. Bei einer Kombination verschiedener Maßnahmen sind immer auch die synergistischen Eindämmungseffekte zu bedenken (z. B. Bodenbedeckung und Bodenbearbeitungsverfahren). Diese Effekte sind nicht leicht abzuschätzen. Bei Bedarf müssen Maßnahmenkonzepte neu bewertet und angepasst werden. Vor der Umsetzung dieser Risikominderungsmaßnahmen ist stets zu prüfen, ob die Maßnahmen für die Pflanzenschutz- und Bodenbearbeitungsverfahren des jeweiligen Betriebes geeignet sind. Vor gravierenden Veränderungen bei der Umstellung von Bodenbearbeitung oder Anbauverfahren sollten alle Folgemöglichkeiten, wie etwa Betriebsmitteleinsatz, Schaderregeraufkommen, Ertragsabsicherung und Wirtschaftlichkeit, berücksichtigt werden.

Aspekte zu einzelnen Maßnahmenkomplexen siehe Kapitel 6.

3.3.2 Versickerung und Drainageabfluss

Versickerung beschreibt den nach unten gerichteten Transport von Wasser im Bodenprofil. Mit dem Wasser können PSM-Wirkstoffe in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Die beiden Begriffe Drainageabfluss und Versickerung werden verwendet, um zu unterscheiden, wohin das Wasser fließt. Demgemäß wird der Begriff „Drainageabfluss“ verwendet, wenn das Wasser in ein mit dem Oberflächenwasser verbundenes unterirdisches Entwässerungsnetz fließt, während der Begriff „Versickerung“ dann verwendet wird, wenn eine Verlagerung ins Grundwasser gemeint ist. Der Schwerpunkt dieser Broschüre ist die Vermittlung von Informationen und Empfehlungen zur „Best Management Praxis“ (BMPs) mit dem Ziel, die Belastung von Gewässern mit PSM durch Drainageabfluss sowie durch Versickerung zu reduzieren. Im Zulassungsverfahren werden bei Bedarf Anwendungsbestimmungen zum Schutz vor Gewässerbelastung durch Versickerung oder Drainageabfluss erteilt. Dennoch werden bei einer begrenzten Anzahl von PSM-Wirkstoffen und deren Abbauprodukten (Metaboliten) unter speziellen Bedingungen unzulässige Konzentrationen in Gewässern durch Drainageabfluss und Versickerung nachgewiesen. In der Regel ist dies auf die Art der Anwendung von PSM, auf Wechselwirkungen zwischen PSM-Eigenschaften, den lokalen Boden- und Klimaverhältnissen sowie der Art der Flächenbewirtschaftung zurückzuführen. Aus diesem Grund sind die BMPs in Bezug auf den Einsatz von PSM in dieser Broschüre weitgehend als Risikomanagementinstrumente gedacht, mit deren Hilfe die Einträge bestimmter PSM in Oberflächengewässer oder ins Grundwasser begegnet werden kann.

Faktoren, die die Mobilität von Pflanzenschutzmitteln in Böden beeinflussen

Die Mobilität der in PSM enthaltenen Wirkstoffe und ihrer Abbauprodukte (Metaboliten) im Boden wird durch die Wechselwirkung zwischen den lokalen Boden- und Klimabedingungen und den Stoffeigenschaften der Wirkstoffe und Metaboliten bestimmt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im Folgenden nur von Wirkstoffen gesprochen. Die Aussagen treffen aber genauso auf ihre Metaboliten zu.

Zwei Stoffeigenschaften werden als primäre Indikatoren für die Beweglichkeit von Wirkstoffen im Boden verwendet: Die Adsorptionsstärke an Boden/organische Substanz (K_{oc}) und die Abbaubarkeit (DT_{50}). Diese Eigenschaften sind Indikatoren zur Bewertung des Risikos für die Verlagerung von Wirkstoffen durch Versickerung und Drainageabfluss. Bezogen auf den K_{oc} -Wert, variiert die

Adsorption je nach Bodentyp – im Allgemeinen steigt sie in Böden mit einem höheren Gehalt an Ton und organischer Substanz im Oberboden an, wohingegen sie mit zunehmender Bodentiefe und damit abnehmendem Gehalt an organischer Substanz sinkt. Auch die Abbaurate variiert in einer Bandbreite je nach Bodeneigenschaften und mikrobieller Aktivität für die einzelnen Wirkstoffe. Insgesamt ist es jedoch möglich, alle Wirkstoffe in ihrer Mobilität im Boden einzustufen. Für einen vereinfachten Überblick wird zur Beurteilung des Versickerungsverhaltens bzw. der Mobilität von Wirkstoffen im Boden der GUS Leaching-Index verwendet (Tabelle 10).

Tabelle 10: GUS (Groundwater ubiquity score) Index zur Bewertung des Versickerungsverhaltens (Quelle: D.I. Gustafson, 1989)

GUS - Wert	Versickerungspotenzial in das Grundwasser
< 0	Extrem gering
0 - 1.8	Niedrig
> 1.8 - 2.8	Mittel
> 2.8	Hoch

Aus anwendungs- und wirkungstechnischen Gründen sind Bodenherbizide hinsichtlich einer Verlagerung in tiefere Bodenschichten tendenziell gefährdeter als zum Beispiel Pflanzenschutzmittel, die in einem späteren und vor allem flächendeckenden Entwicklungsstadium der Kulturen eingesetzt werden. Tabelle 11 gibt einen Überblick über das unterschiedliche Versickerungspotenzial aktueller Bodenherbizide. Das Risiko für die Belastung des Grundwassers wird nicht nur von den originären Eigenschaften des Wirkstoffs, sondern auch vom Verhalten der im Abbauprozess gebildeten Metaboliten bestimmt. Letztere neigen häufiger zur Verlagerung. Wirkstoffe, die eine hohe Anzahl an Metaboliten bilden, sind daher auch kritischer hinsichtlich der Grundwasserbelastung einzustufen.

In der Praxis hängt das Risiko einer Verlagerung von Wirkstoffen in tiefere Bodenschichten auch von der Zeitspanne zwischen der Anwendung und einem nachfolgenden signifikanten Regenereignis ab. Ist die Zeitspanne zwischen Applikation und Regenereignis kurz, steht im Oberboden aufgrund der geringen Zeit für den Abbau mehr Wirkstoff für die Versickerung zur Verfügung. Gleichzeitig ist die Bindung an Bodenpartikel noch nicht so stark ausgeprägt, da sich viele Wirkstoffe erst im zeitlichen Verlauf stärker an den Boden binden. Beide Faktoren tragen in einem solchen Fall dazu bei, dass Wirkstoffe mit dem Wasser in tiefere Bodenschichten verlagert werden, insbesondere wenn im Oberboden Risse oder viele Makroporen vorhanden sind. Daher sollte im Zuge der Planung einer PSM-Applikation immer der aktuellste Wetterbericht zu Rate gezogen werden, sodass kurz nach der Ausbringung möglichst keine starken Niederschläge zu erwarten sind. Hierbei handelt es sich um ein wesentliches Element der guten fachlichen Praxis zur Verringerung des Risikos von PSM-Einträgen in Gewässer.

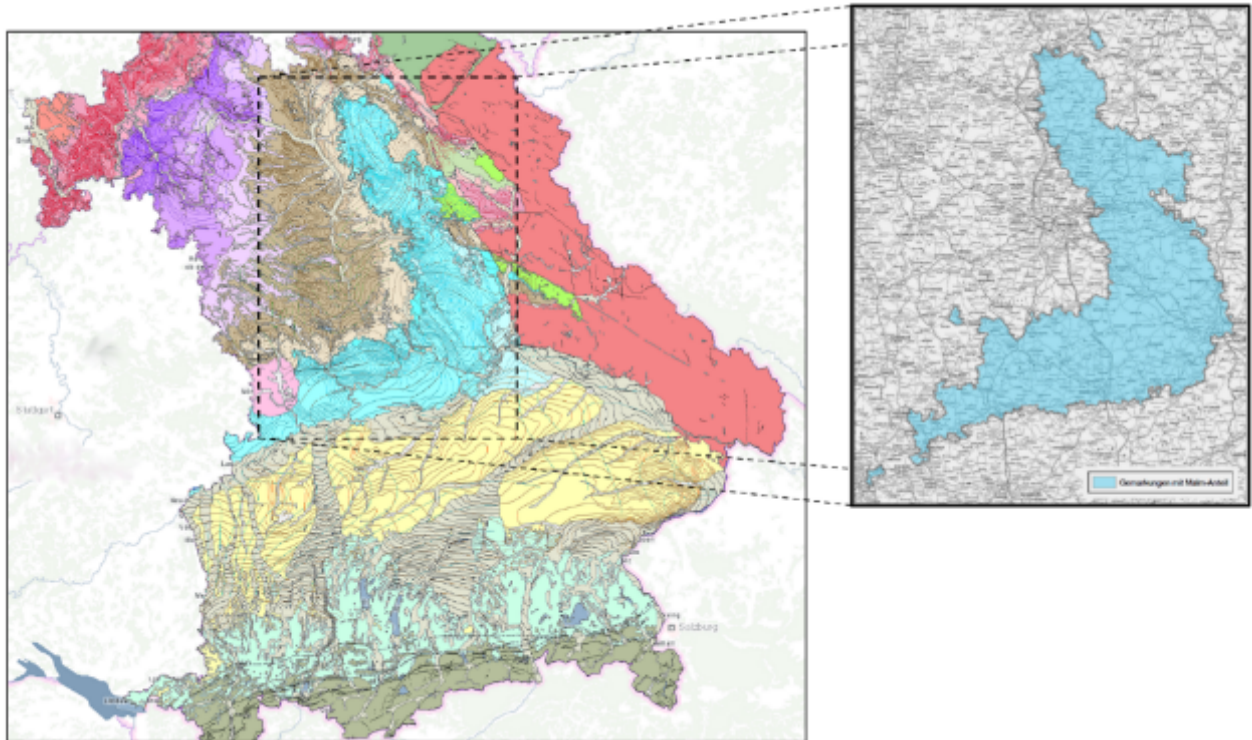
Tabelle 11: Versickerungsneigung von bodenaktiven Herbiziden

Bodenherbizid-Wirkstoff	GUS-Index	Versickerungsneigung
Pendimethalin	-0,39	extrem gering
Picolinafen	-0,31	
Prosulfocarb	0,84	niedrig
Beflubutamid	1,37	
Flumioxazin	1,41	
Pethoxamid	1,41	
Dimethenamid-P	1,71	
Propyzamide	1,8	
Dimethachlor	1,83	mittel
Napropamide	1,94	
Metazachlor	1,96	
Flufenacet	2,02	
Clomazone	2,96	hoch
Chlorotoluron	3,02	
Metamitron	3,05	
Ethofumesate	3,19	
Lenacil	4,25	
Propoxycarbazon	4,54	

Quelle: University of Hertfordshire, Pesticide Properties DataBase, 2024

Der Einfluss von Boden- und Klimabedingungen hinsichtlich des Risikos von Wirkstoff-Einträgen in Oberflächengewässer oder in das Grundwasser ist sehr vielfältig. Im Einzelfall sind die standortspezifischen Bedingungen zu berücksichtigen. Es lassen sich drei Hauptfaktoren unterscheiden, die Auswirkungen auf das Abfluss- und Versickerungspotenzial von PSM haben:

Die Bodenart beeinflusst das Wasserhaltevermögen des Bodens und somit auch den Wasserfluss im Boden. Ein Schwellenwert von < 150 mm Wasserhaltevermögen bzw. Feldkapazität im Bodenprofil bis 1 m Tiefe ist eine Kenngröße für das Risiko einer Verlagerung von Wirkstoffen. In diese Böden dringen Niederschläge tiefer ein aufgrund des geringeren Speichervermögens, sodass ein höheres Risiko der Verlagerung von Wirkstoffen in tiefere Bodenschichten bzw. in den Grundwasserkörper besteht. Sorptionsschwache Bodenverhältnisse können sehr kleinräumig oder auch regional auftreten. In Bayern ist die hydrogeologische Formation des Jura-Karst (Abbildung 31) generell als Risikoregion für die Verlagerung von PSM-Wirkstoffen zu betrachten. Aufgrund dessen wird vom Bayerischen Pflanzenschutzdienst von einem Einsatz von versickerungsgefährdeten Wirkstoffen wie beispielsweise Terbutylazin, Metazachlor, Chlortoluron etc. in diesem Gebiet abgeraten.



*Abbildung 31: Hydrogeologie Bayern mit vergrößertem Ausschnitt des offenen Jura-Karsts
Karten: Bayerisches Landesamt für Umwelt*

Die Bodenstruktur kann die Infiltrationsrate von Wasser in den Boden deutlich beeinflussen, insbesondere durch das Vorhandensein von Schrumpf- und Quell-Rissen in Tonböden und Bioporen wie z.B. Regenwurmgänge oder Wurzelröhren. Über solche Makroporen kann ein konzentrierter Wasserfluss bei der Versickerung die Bodenmatrix umgehen. Dies erfolgt meistens in den Sommermonaten, wenn vor allem schwerere Böden infolge von Wassermangel Trockenrisse aufweisen. Derartig konzentrierte Versickerung ist ein Einflussfaktor für den Austrag von PSM-Wirkstoffen über Drainagen und die Verlagerung in das Grundwasser. Der Zustand des Bodens wird wesentlich durch Bearbeitungsverfahren beeinflusst und bestimmt die Bewegung des Wassers im Bodenprofil. So erhöht etwa der Zwischenfruchtanbau nicht nur den Gehalt an organischer Substanz im Boden, sondern auch die Anteile von Makroporen, mikrobielle Aktivität sowie den Wasserhaushalt. Zusätzlich fördert eine konservierende Bodenbearbeitung den Gehalt an organischer Substanz und die mikrobielle Aktivität in der oberen Bodenschicht und hat von daher auch Vorteile in Bezug auf die Reduktion von Versickerung.

Das Vorhandensein eines Drainagesystems und der Grundwasser-Flurabstand bestimmen die tatsächliche Strecke, die Wirkstoffe im Boden zurücklegen müssen, um ins Oberflächen- oder Grundwasser zu gelangen. Beide Faktoren haben einen wesentlichen Einfluss auf das Belastungsrisiko und müssen daher in der nachfolgenden Risikobewertung separat betrachtet werden.

Risikobewertung

Da bei der Verlagerung von Wirkstoffen in der Bodenmatrix Austräge über Drainagen in Oberflächengewässer und Einträge durch Versickerung in das Grundwasser stattfinden können, müssen beide Szenarien getrennt bewertet werden.

Austragspotenzial über Drainagen

Offizielle Informationen zu vorhandenen und funktionsfähigen Drainagesystemen sind oftmals nicht oder nicht ausreichend verfügbar. Die Kenntnis darüber ist jedoch die Voraussetzung für eine notwendige Risikobewertung einzelner Flächen. Das Bewertungsschema in Tabelle 12 beschreibt letztlich Faktoren, die zu einem mehr oder weniger raschen Transport von Niederschlagswasser in das Drainagesystem führen. Eine produktionstechnische Situation wäre zum Beispiel ein vor der Behandlung erfolgter Zwischenfruchtanbau mit Meliorationsrettich (Syn.: Tillage-Rettich, Tiefenrettich) mit einer nur flachen Bodenbearbeitung. Bei Tiefenlockerungen auf drainierten Flächen handelt es sich vorwiegend um Bearbeitungen zum Aufbrechen von vorhandenen Pflugsohlen oder sonstigen Verdichtungen in mittleren Bodenschichten, die den Wasserabfluss in die Drainage wiederherstellen bzw. verbessern sollen.

Tabelle 12: Schema für die Risikobewertung von drainierten Feldern

Faktor	Risiko niedrig hoch		
	Faktorausprägung		
Risse/Makroporen	regelmäßig		selten - nie
Tiefenlockerung	nein		ja
Tongehalt	< 25 %	25 - 35 %	> 35 %
Feldkapazität (FK)	> 230 mm	230 - 150 mm	< 150 mm

Quelle: In Anlehnung an C. Brown et al. - TOPPS-Projekt, 2020

Versickerung in das Grundwasser

Im Allgemeinen findet der Großteil der Grundwasserneubildung im Winter und zu Beginn des Frühjahrs statt. In dieser Periode ist die Verdunstung aus dem Boden und der Wasserentzug durch Pflanzen geringer, was zu einer Verlagerung des Wassers im Bodenprofil nach unten führt. Dabei werden wasserlösliche Stoffe mittransportiert. Da im Winterhalbjahr auch der mikrobielle Wirkstoffabbau im Oberboden weitgehend zum Erliegen kommt, sind PSM-Anwendungen im Herbst oder sehr zeitigen Frühjahr in Winterungen hinsichtlich der Versickerung besonders gefährdet. In der weiteren Anwendungsperiode im Frühjahr bis Frühsommer kann es auf sehr sorptionsschwachen, sandigen, steinigen bzw. flachgründigen Standorten durch Starkregen kurz nach einer PSM-Anwendung ebenfalls zu einer Wirkstoffverlagerung aus der oberen Bodenzone kommen. In Tabelle 13 sind die wesentlichen Risikofaktoren für eine Versickerung von Wirkstoffen aufgeführt. Das Direktsaatverfahren stellt hierbei in Verbindung mit tonreichen Böden ein besonderes Risiko dar, weil ohne Bearbeitung des Oberbodens der Wasserabfluss in vorhandene Risse oder Makroporen anhaltend stattfinden kann.

Tabelle 13: Schema für die Risikobewertung von Grundwasserbelastungen durch Versickerung von PSM-Wirkstoffen

Faktor	Risiko		
	niedrig		hoch
	Faktorausprägung		
Risse/Makroporen	regelmäßig		selten - nie
Direktsaat	nein		ja
Grundwasser-Flurabstand	> 2 m	1 - 2 m	< 1 m
Feldkapazität (FK)	> 230 mm	230 - 150 mm	< 150 mm

Quelle: In Anlehnung an C. Brown et al. - TOPPS-Projekt, 2020

Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos von Gewässerbelastungen durch Austrag über Drainagen und Versickerung in das Grundwasser

Die Notwendigkeit von Risikominderungsmaßnahmen und deren Intensität steht im Verhältnis zu dem durch die Bewertung erhobenen standortspezifischen Risikopotenzial. Dieses Vorgehen entspricht einem Vorsorgeprinzip, um das Auftreten von Wirkstoffbelastungen zu vermeiden bzw. zu minimieren. Bei bereits vorhandenen Belastungen in Oberflächengewässern oder im Grundwasser sollte die Intensität der Maßnahmen verstärkt und die Anwendung von Wirkstoffen mit Grenzwertüberschreitungen so weit wie möglich eingeschränkt werden.

Risikofaktoren wie vorhandene Drainagesysteme und sorptionsschwache Standorte können nicht verändert werden. Das Maßnahmenpaket in Tabelle 14 zielt darauf ab, den PSM-Einsatz auf das absolut notwendige Maß zu beschränken, die Anwendung in sensiblen Perioden und von kritischen Wirkstoffen zu vermeiden sowie die Wasserhaltefähigkeit der Böden zu fördern bzw. zu unterstützen. Ein standortspezifisches Wirkstoffmanagement ist vor allem dann gefordert, wenn bereits konkrete Belastungen in Oberflächengewässern oder im Grundwasser vorliegen und wenn es sich um sehr versickerungsgefährdete Standorte (Sand-, Schotterböden, Jura-Karst) handelt.

Tabelle 14: Maßnahmen zur Verringerung des Risikos von Gewässerbelastungen durch Drainage-Abfluss und Versickerung. Quelle: In Anlehnung an C. Brown et al., 2020

Maßnahmenbereich	Umsetzung
PSM-Anwendung	• Behandlungen im Zeitraum der Grundwasserneubildung (Winterhalbjahr) einschränken • Behandlungen vor Starkniederschlägen bzw. Perioden mit hohen Niederschlägen vermeiden • Alternative Verfahren berücksichtigen
PSM-Intensität	• Eingeschränkte Anwendung oder Verzicht auf den Einsatz von kritischen Wirkstoffen • Bevorzugung von Präparaten mit geringem Wirkstoffaufwand • Kombination von chemischen und nicht-chemischen Maßnahmen • Anpassung der Fruchtfolge zur Reduzierung des Schaderregeraufkommens • Verwendung von Prognosemodellen und Entscheidungshilfen • Möglichst selektive Behandlung der relevanten Schaderreger • Teilflächenspezifische Behandlungen, insbesondere bei der Unkrautregulierung • Verwendung von biologischen oder nicht-chemischen Präparaten
Wirkstoffmanagement	• Auswahl von Wirkstoffen mit geringem Verlagerungsrisiko • Vermeidung von Wirkstoffen, die bereits Grenzwertüberschreitungen im Gewässer oder Grundwasser verursacht haben • Vermeidung von regelmäßigen bzw. wiederholten Anwendungen einzelner Wirkstoffe
Fruchtfolge	• Vielfältige Fruchtfolgen zur Verminderung des Schaderregeraufkommens
Bodenbearbeitung	• Schutz und Förderung der Bodenstruktur zur Verbesserung der Wasserhaltefähigkeit im Oberboden • Unterbrechung von vertikalen Rissen oder Makroporen
Zwischenfruchtanbau	• Förderung der mikrobiellen Bodenaktivität • Verbesserung der Bodenstruktur, Humuserhalt • Unterdrückung von Schaderregern und Problemunkräutern
Bewässerung	• Vermeidung von temporärem Wasserüberschuss • Bevorzugung von Systemen mit niedrigem Wasseraufwand (Tröpfchen-, Strangbewässerung, ...)
Entwässerung	• Einrichtung von Stau-/Rückhaltebecken mit biologisch aktiven Zonen bei großflächigen Auffangsystemen

Weitere und detaillierte Informationen zu Risikominderungsmaßnahmen der Belastung von Oberflächengewässern über den Drainageabfluss und Grundwasserbelastung durch Versickerung können unter C. Brown et al. (2020) nachgeschlagen werden.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass Maßnahmen zur Vermeidung von Gewässerbelastungen grundsätzlich produktionstechnische Vorteile bieten und die Wirtschaftlichkeit der Anbauverfahren verbessern können.

4 Handlungsfeld N-Düngung und Grundwasser

Autor: Dr. Matthias Wendland, LfL

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit allen Faktoren, die zu einer Reduzierung des Eintrags von Nitrat in das Grundwasser beitragen können. Die Maßnahmen zielen darauf ab, zum einen die Nährstoffbilanz auf der LF so ausgeglichen wie möglich zu gestalten und zum anderen den für den Grundwasserschutz wichtigen Herbst- $N_{\min}$ -Wert auf ein ungefährliches Maß zu senken.

4.1 Datengrundlagen zur Analyse

Zur Beurteilung der eigenen Wirtschaftsweise im Ist-Zustand und zur zielorientierten Planung von Anpassungen ist die Kenntnis bestimmter betriebseigener Daten und Kennzahlen notwendig.

Tabelle 15: Wichtige Betriebsdaten

	Quellen und EDV-technische Unterstützung
Düngebedarfsermittlung und tatsächliche Düngung	Eigene Daten https://www.lfl.bayern.de/duengebedarfsermittlung
Erträge Ackerkulturen	Eigene Daten
Erträge Futterbau	Eigene Daten
Nährstoffanfall Tierhaltung N	www.lfl.bayern.de/basisdaten
Nährstoffanfall Tierhaltung P_2O_5	www.lfl.bayern.de/basisdaten
Nährstoffanfall Biogas	www.lfl.bayern.de/biogasrechner
Aufgenommene org. Dünger	Eigene Daten
Abgabe org. Dünger	Eigene Daten
Lagerkapazität Wirtschaftsdünger	Eigene Daten www.lfl.bayern.de/lagerkapazitaet
Gülle-, Gärrest und Mistanfall	Eigene Daten www.lfl.bayern.de/basisdaten
Nährstoffgehalt Gülle und Mist	Eigene Untersuchungen www.lfl.bayern.de/basisdaten
Nährstoffgehalt (N/ P_2O_5) Biogasgärreste	Eigene Untersuchungen www.lfl.bayern.de/biogasrechner
Anfall Biogasgärreste	Eigene Daten www.lfl.bayern.de/biogasrechner
Fruchtfolge	Eigene Daten
Zwischenfruchtanbau % Fläche	Eigene Daten
Kulturen Zwischenfruchtanbau	Eigene Daten
Bodenuntersuchung P_2O_5	Bodenuntersuchungsergebnis

N _{min} -Untersuchungen Herbst	Bodenuntersuchungsergebnis
N _{min} -Untersuchungen Frühjahr	Bodenuntersuchungsergebnis
Mehrjährige Ergebnisse von Nährstoffbilanzen	Berechnungen www.lfl.bayern.de/naehrstoffbilanz
Zukauf von N-Mineraldünger	Eigene Daten
Zukauf von P ₂ O ₅ -Mineraldünger	Eigene Daten

Die Berechnungsprogramme der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) sind wichtige Hilfsmittel, um Daten zu Nährstoffgehalten, Nährstoffanfall, notwendigen Lagerkapazitäten und dem Nährstoffbedarf der angebauten Kulturen zu erhalten. Die Daten können aber auch aus anderen EDV-Anwendungen, z. B. Schlagkarteiprogramm mit den integrierten Funktionen, gewonnen werden.

4.2 Nährstoffkreislauf

Ein geschlossener betrieblicher Nährstoffkreislauf ist die Grundlage einer gewässerschonenden Bewirtschaftung. Eine ausgeglichene Nährstoffzu- und -abfuhr verhindert Überschüsse auf der Fläche und reduziert somit die Eintragsgefahr von Nährstoffen in Gewässer. In Abbildung 32 ist der Nährstoffkreislauf eines landwirtschaftlichen Betriebes mit seinen In- und Output-Faktoren dargestellt.

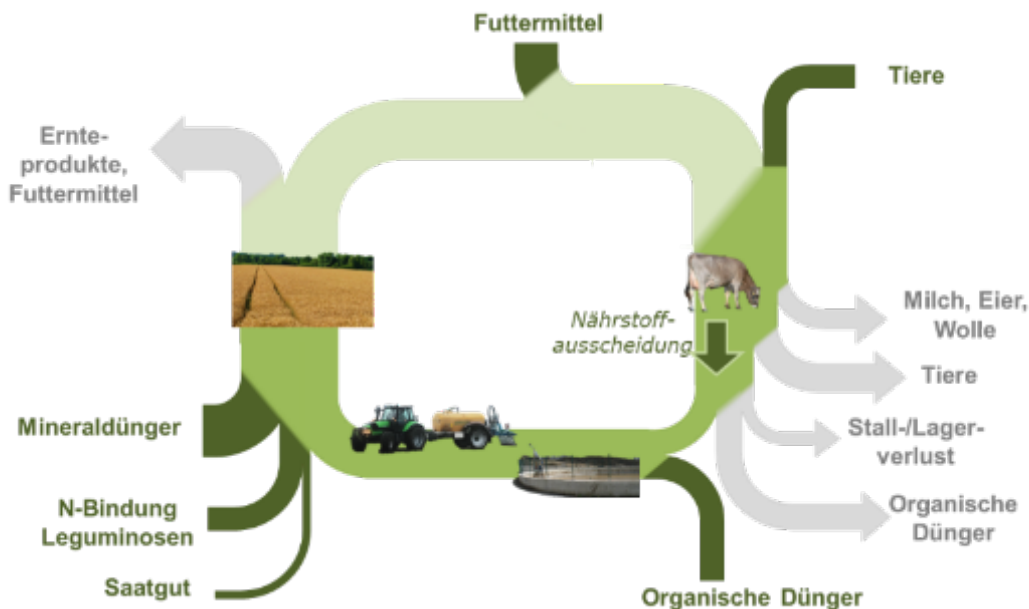


Abbildung 32: Nährstoffkreislauf eines landwirtschaftlichen Betriebes

Der optimale Einsatz von Dünge- und Futtermitteln zählt ebenso wie die Vermeidung von Stickstoffverlusten bei der Lagerung und Aufbringung von Wirtschaftsdüngern zu den zentralen Ansatzpunkten zur Verbesserung der betrieblichen Bilanzen. Nach Verkauf der tierischen und pflanzlichen Erzeugnisse sollen keine Nährstoffüberschüsse sowohl bei Stickstoff als auch bei Phosphat entstehen, die das Potential zu Einträgen in Gewässer liefern können. Dabei spielen viele innerbetriebliche Parameter eine Rolle, die sich auf die Effizienz der Tierhaltung und des Wirtschaftsdüngermanagements auswirken.

Die in der Abbildung 32 grün dargestellten Nährstoffimporte zeigen wesentliche Stellschrauben und Optimierungspotentiale für einen ausgeglichenen Nährstoffkreislauf. Eine Reduzierung und Optimierung des Einsatzes dieser Betriebsmittel sowie der innerbetrieblichen Nährstoffströme viehhaltender Betriebe mit dem Ziel eines verringerten Mineraldüngerzukaufs ist mit vielen Maßnahmen möglich. Dazu zählen z. B. eine genaue Düngeplanung, eine Verbesserung der Nährstoffeffizienz bei der Anwendung organischer Dünger und ein gezielter Zwischenfruchtanbau. Wesentliche Potentiale bietet auch die Intensität der Tierhaltung.

Durch die Analyse der individuellen Nährstoffkreisläufe kann jeder Betrieb seine individuellen Einsparpotentiale feststellen und Handlungsfelder priorisieren. Da jährliche Bilanzierungen große Schwankungen aufweisen können (z. B. wegen witterungsbedingten Ertragsschwankungen), sollten bei der Bewertung der Ergebnisse immer mehrere Jahre gemeinsam betrachtet werden.

Zur Beurteilung der Nährstoffströme eines Betriebes eignet sich am besten die Hof-Tor-Bilanz bzw. Stoffstrombilanz in Verbindung mit Stallbilanzen und Flächenbilanzen. Die Hof-Tor-Bilanz gibt einen Überblick über die Nährstoffeffizienz der landwirtschaftlichen Produktion eines Betriebes. Bei diesem Bilanztyp werden die Zufuhren und Abfuhren in den Gesamtbetrieb berücksichtigt (Abbildung 33). Die Zufuhr z. B. von Stickstoff oder Phosphor erfolgt in Form von Düngemitteln, Futtermitteln, über Saatgut, den Zukauf von Tieren und aus der Luft über die Stickstoffbindung von Leguminosen. Die Abfuhr von Nährstoffen aus dem Betrieb erfolgt über den Verkauf von tierischen und pflanzlichen Produkten. Ziel ist, alle Zu- und Abfuhren eines landwirtschaftlichen Betriebes zu erfassen. Bei der Stoffstrombilanz handelt es sich um eine Bruttobilanz, d. h. Austräge in den Boden und Verluste in die Luft werden nicht abgezogen.

Die Stallbilanz bildet die Nährstoffeffizienz der Tierproduktion und die zu erwartenden Nährstoffgehalte der anfallenden Wirtschaftsdünger ab. Mit der Nährstoffbilanzierung für einzelne Schläge können deren individuelle Stickstoffeffizienz sowie in Kombination mit Bodenuntersuchungsergebnissen der Zusammenhang zwischen Phosphor Ein- und Austrägen ermittelt werden. Eine kombinierte Berechnung der Schlagbilanz mit einer Stallbilanz kann helfen, die Nährstoffzufuhr und Nährstoffabfuhr zu plausibilisieren und die Schlagbilanz innerbetrieblich zu einem günstigen Instrument der Düngeoptimierung zu machen.

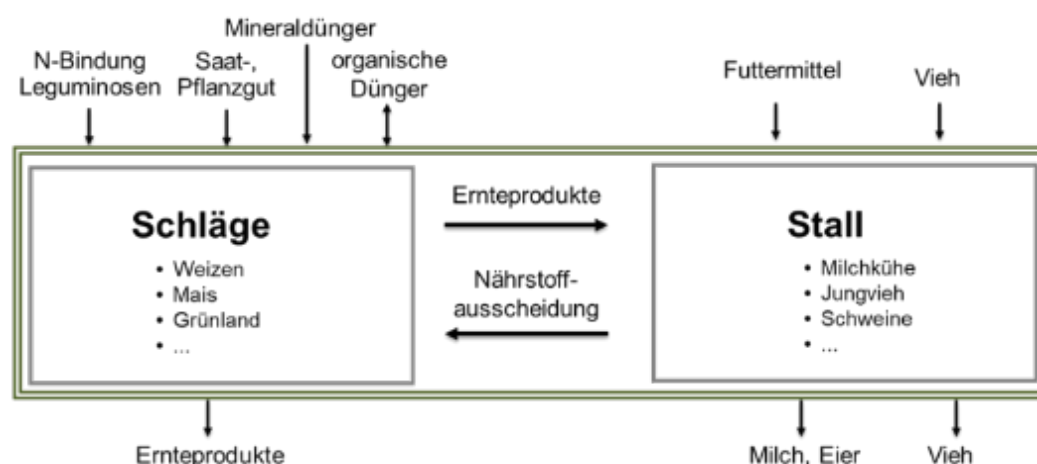


Abbildung 33: Schema der Stoffstrombilanz (Hof-Tor-Bilanz); Doppelrahmen zeigt Bilanztyp.

In den folgenden Kapiteln werden einzelbetriebliche Möglichkeiten zur Verbesserung der Nährstoffeffizienz von Stickstoff und Phosphat und Maßnahmen zur Vermeidung von Gewässerverunreinigungen bei den pflanzenbaulichen Verfahrensschritten aufgezeigt.

4.3 Düngeplanung

Eine an den Bedarf angepasste ausgewogene Düngung, die sich an betriebs- und schlagspezifischen Gegebenheiten orientiert, ist Grundvoraussetzung für eine optimale Pflanzenernährung unter Vermeidung von umweltbelastenden Überversorgungen. Jede Kultur hat einen individuellen Nährstoffbedarf, der im wesentlichen vom Ertrag und der gewünschten Qualität abhängt. Dieser Bedarf wird aus der Nährstoffzufuhr durch Düngungsmaßnahmen, aus dem Bodenvorrat und weiteren Quellen wie Vorfrucht, Leguminosen und Nachlieferung aus organischen Düngern gedeckt. Die DüV schreibt für Stickstoff und Phosphat eine schriftliche Düngebedarfsermittlung vor, die vor der ersten Ausbringung dieser Nährstoffe erstellt werden muss. Die Verwendung des Online- oder Excelprogramms der LfL (www.lfl.bayern.de/duengebedarfsermittlung) hilft die zahlreichen zu berücksichtigenden Faktoren richtig zu erfassen. Viele Werte und Berechnungsfaktoren werden von der DüV vorgegeben und gehen als unveränderbare Basisdaten in die Berechnung ein (Beispiele siehe Tabelle 16). Genaue Informationen dazu finden sich im Internet oder im Gelben Heft (Leitfaden für die Düngung von Acker und Grünland,

https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/2022_08_iab_info_gelbes_heft.pdf).

Der mit den Programmen berechnete Düngebedarf ist der Maximalwert, der nicht überschritten werden darf, aber jederzeit unterschritten werden kann. Die Düngung muss so bemessen werden, dass nach der Ernte keine gewässerbelastenden Nährstoffüberschüsse auf der Fläche verbleiben. Dazu müssen die tatsächlich zu erwartenden Erträge als Grundlage verwendet werden, um N-Einträge in Gewässer aus Überschüssen von nicht erreichbaren Erträgen in Gewässer zu vermeiden. Gleichzeitig gilt es während der Vegetationszeit in Abhängigkeit von der Kulturentwicklung und der Witterung die notwendige Stickstoffdüngung kritisch zu hinterfragen und die Obergrenze nur bei optimalen Bedingungen auszuschöpfen.

Tabelle 16: Beispiele für eine Stickstoff-Düngebedarfsermittlung bei Ackerkulturen, Feldfutterbau, Grünland und Zweitfrüchten, FM = Frischmasse, TM = Trockenmasse, GPS = Ganzpflanzensilage.

Düngebedarfsermittlung Stickstoff		Basisdaten und Hinweise	Acker*	Feld- ** futterbau	Grünland	Zweitfrüchte
I	Schlag					
II	Kultur/Nutzung	Tab. 2, 9a - 9e	Silomais	Kleegras 50 % Klee	Grünland ≥ 3 Schnitte	GPS Getreide
III	Ertragsniveau (Ø letzte 5 Jahre) [dt/ha]	eigene Daten, LfL	500 (FM)	550 (FM)	75 (TM)	200 (FM)
			kg N/ha			
1	Stickstoffbedarfswert bei Ertrag nach Basisdaten	Tab. 2, 9a - 9e	200	290	205	120
2	Zu-/Abschlag durch Ertragsdifferenz zu Basisdaten	Tab. 2, 9a - 9e	+10	+29	-12,8	-0
3	Abschlag im Boden verfügbare N-Menge (N _{min})	Untersuchung, LfL, Simulation	-70			
4	Abschlag N-Nachlieferung aus Bodenvorrat (Humusgehalt)	Tab. 9f	0		-10	
5	Abschlag Vorfrucht	Tab. 9f	0			
6	Abschlag Zwischenfrucht	Tab. 9f	0			
7	Abschlag N-Fixierung durch Leguminosen	Tab. 1a - 1e, 9f	0	-181,5	-20	0
8	Abschlag N-Nachlieferung aus org. Düngung zur Vorfrucht	10 % von N _{ges} Tab. 5a	-12,3	-12,3	-12,3	
9	Abschlag N-Nachlieferung aus org. Düngung zur Zwischenfrucht/Zweitfrucht	10 % von N _{ges} Tab. 5a	-5,7			
10	Abschlag org. Düngung*** im Herbst zu W-Gerste & W-Raps	100 % vom NH ₄ -N; Tab. 5a	0			
11	Abschlag mineral. Düngung im Herbst zu W-Gerste & W-Raps	Tab. 3	0			
12	Düngebedarf		122	125,2	149,9	120
13	Abzug (geplante) organische Düngung zur Kultur inkl. Weide	Tab. 5a, Beweidung	-73,8	-61,5	-61,5 Gülle -2,9 Weide	-73,8
14	Mineralische Empfehlung		48,2	63,7	85,5	46,2
15	Zuschläge aufgrund nachträglich eintretender Umstände		---	---	---	---

* nicht für Gemüse nach Gemüse: siehe Vorgaben der Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG)

** nur mehrschnittiger Feldfutterbau (einschnittiger Feldfutterbau nach Schema DBE Acker)

*** ohne Festmist von Huf- & Klautieren und Kompost

Wichtige Punkte zur Düngeplanung aus Sicht des Gewässerschutzes:

1. Eine Düngebedarfsermittlung ist individuell für alle Schläge des Betriebes, nicht nur für Bewirtschaftungseinheiten zu erstellen.
2. Es ist eine realistische Ertragserwartung unter Berücksichtigung des Klimawandels anzugeben.
3. $N_{\min}$ -Werte sollen von jeder Fläche (gesunder Mix aus Untersuchung und Simulation) vorliegen und herangezogen werden. Veröffentlichte $N_{\min}$ -Werte können nur allgemeine Informationen und eine grobe Orientierung über Gebiets- und fruchtspezifische Größenordnungen geben.
4. Es ist zu berücksichtigen, dass der in der DüV genannte Stickstoffbedarfswert, der die notwendige Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff für optimale Erträge angibt, in bundesweiten Versuchen ermittelt und dabei eine mittlere N-Nachlieferung verschiedener Böden berücksichtigt wurde. Er kann daher bei anderen standortbezogenen Bedingungen in der Praxis abweichen und niedriger sein. Wesentliche Vorteile für den Gewässerschutz ergeben sich dann, wenn schrittweise weitere Reduzierungen durchgeführt werden.
5. Bei bestimmten Kulturen wie Silomais oder Klee gras ist die Ertragswirkung einer reduzierten N-Düngung geringer als beispielsweise bei Qualitätsweizen (Abbildung 34). Um den betrieblichen Nährstoffkreislauf zu schließen und Überschüsse abzubauen, kann daher bei diesen Kulturen vorrangig eine Reduktion der N-Düngung erfolgen. In den Düngebedarfsermittlungsprogrammen der LfL ist dies als Optimierung für die Flächen im mit Nitrat belasteten, roten Gebiet hinterlegt. Aber auch für Flächen außerhalb roter Gebiete kann damit eine reduzierte Düngung geplant werden.
6. Für die Beurteilung des errechneten Düngebedarfs und wie weit diese Menge reduziert werden kann, sind die standortspezifischen Erfahrungen des Landwirtes unerlässlich. Diese sollten durch laufende Beobachtungen und eventuell Messungen des Ernährungszustandes der Kulturen während des Vegetationsverlaufes ergänzt werden.

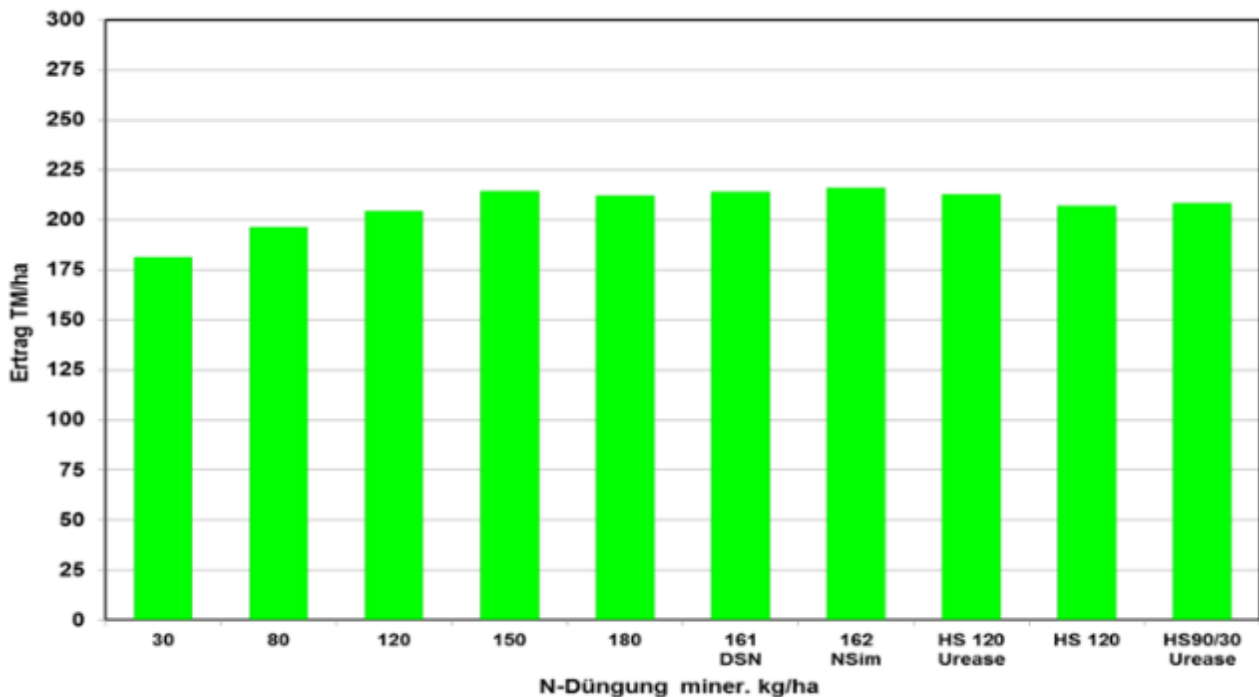


Abbildung 34: Erträge bei Silomais mit mineralischer N-Düngung, 2016 bis 2018, Mittel aller Orte und Jahre, $n=6$ (Datengrundlage: LfL-Versuche)

4.4 Sortenwahl bei Winterweizen

Autor: Dr. Lorenz Hartl, LfL

Grundsätzlich sind zwischen den empfohlen Weizensorten nur geringe Unterschiede in der Stickstoffnutzung, d. h. im Rohproteinertrag oder N-Entzug übers Korn vorhanden. Da der Ertrag negativ mit dem Rohproteingehalt (RP) in Beziehung steht, bleibt es aber eine ökonomische Abwägung, welches Qualitätsziel angestrebt werden soll. Deutschlands Weizenerzeugung wird für verschiedene Nutzungen eingesetzt. Ein Drittel der Weizenernte wird für Nahrungszwecke verwendet. Etwas mehr fließt direkt in die Fütterung. Neben dem Saatgut und den Verlusten teilt sich der Rest auf die energetische und industrielle Verwendung (u. a. Stärke) auf. Drei Viertel der angebauten Sorten sind trotzdem aus der Qualitätsgruppe E und A, die eine bessere Proteinqualität und als marktrelevantes Kriterium einen höheren Rohproteingehalt besitzen. Neben anderen relevanten Eigenschaften sind ein hoher Rohprotein- und damit meist ein hoher Klebergehalt Parameter, die die Backqualität positiv beeinflussen. Die Sorten der Qualitätsgruppen B und C sind ertragsbetont, zulasten des Proteingehaltes gezüchtet. Für C-Weizen muss nach DüV ein um 20 kg N/ha geringer Düngebedarf angesetzt werden.

Es ist zu beachten, dass in der Tierernährung der Rohproteingehalt von Weizen anders errechnet wird als bei der Pflanzenzucht und Backweizen-Vermarktung. Bei beiden Verfahren wird der N-Gehalt bestimmt, mit einem Faktor multipliziert und daraus der Rohproteingehalt berechnet. In der Tierernährung wird der N-Gehalt mit dem Faktor 6,25 multipliziert und vor allem in der Monogastrier-Fütterung auf Trockenfutter mit 88 % Trockenmasse (TM) bezogen. Bei Backweizen und der Weizenvermarktung wird der N-Gehalt mit dem Faktor 5,7 multipliziert und immer auf die Trockenmasse (100 % TM) bezogen. Eine Vereinheitlichung ist nicht absehbar.

Weizen für die Fütterung

Die Inhaltsstoffe des Weizens, insbesondere dessen Rohproteingehalt, sind mit dafür ausschlaggebend, wieviel Stickstoff von den Nutztieren ausgeschieden wird. Überhöhte Eiweißgehalte in den Rationen sind immer mit hohen N-Ausscheidungen verbunden. Je höher die Stickstoffmengen in den Wirtschaftsdüngern sind, desto größere N-Emissionen können auftreten.

Oft ist der Rohproteingehalt der Futterration zu hoch. Ist dies der Fall, muss der Futterweizen als wichtige Rationskomponente eiweißärmer werden. Solch ein proteinschwacher Weizen ist für Schweine, Pferde und Geflügel sowie für Milchkühe, die in einem Grünlandbetrieb stehen, besser geeignet. Da der relative Anteil essentieller Aminosäuren wie Lysin (Abbildung 35) mit geringerem Proteingehalt steigt, nimmt die Wertigkeit des Getreideeiweißes für Monogastrier in der Ration zu. Zudem kann mehr höherwertiges Eiweiß aus anderen Futterkomponenten hinzugefügt werden. Proteinarmen Weizen ist eine sehr interessante Komponente, um N-/P-reduzierte Futtermischungen zu erstellen sowie eine Verringerung der Nährstofffrachten in der Gülle zu erreichen. Die Produktion proteinarmen Weizens spart N-Dünger und ermöglicht die Wahl ertragsstarker Sorten ohne Berücksichtigung des Proteingehalts. Aktuell sind Campesino und KWS Keitum in der Empfehlung.

Die Erzeugung und der Verkauf von rohproteinreichem E/A-Weizen bei gleichzeitigem Zukauf von proteinarmem Futtergetreide ist keine Alternative für viehstarke Betriebe. Theoretisch könnten höhere N-Entzüge realisiert werden. Für das Erreichen der hohen Rohproteingehalte ist aber eine mineralische Qualitätsspätdüngung notwendig, für die meist in der Düngebedarfsermittlung aufgrund hoher $N_{\min}$ -Gehalte und hoher organischer Düngung zu wenig Spielraum bleibt.

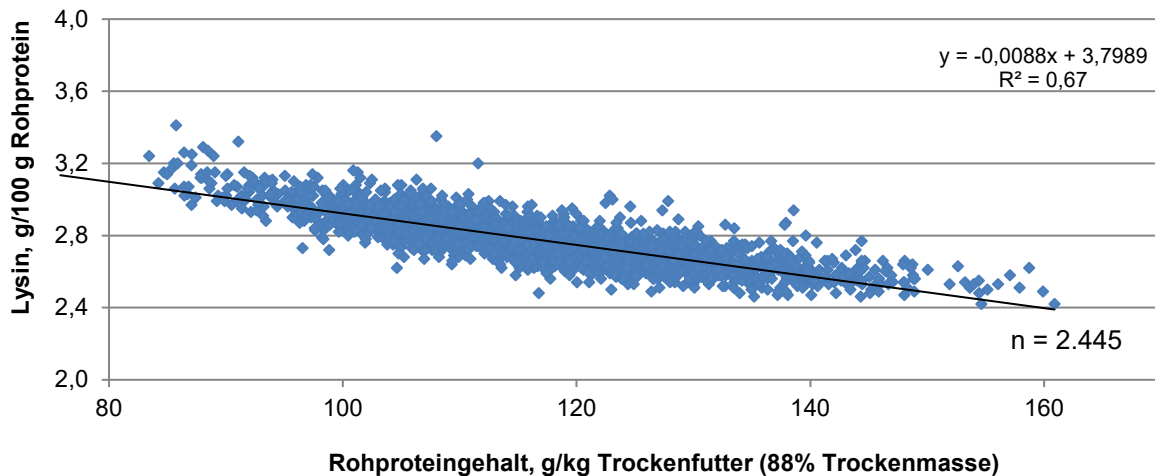


Abbildung 35: Lysingehalt im Rohprotein bei steigendem Rohproteingehalt, Winterweizen aus Bayern, Ernte 2013-2017, $n = 2.445$

Mastrinder, Mutterkühe, Milchkühe auf Ackerbaustandorten und Milchschafe sowie Milchziegen sind nicht zwingend auf rohproteinarmen Weizen angewiesen, da deren sonstige Futtergrundlage in der Regel rohproteinarm ist. Sorten mit hohem Rohproteinertrag (Kornertrag x Rohproteingehalt) und guter Stickstoffaufnahme sind deshalb bevorzugt. Zu KWS Keitum und Campesino sind auch KWS Donovan, SU Mangold, SU Jonte und Asory zu empfehlen.

Produktion von Mahlweizen

Die Winterweizensorten der verschiedenen Qualitätsgruppen unterscheiden sich deutlich im Hinblick auf ihren Ertrag und den Rohproteingehalt. Grundsätzlich ist der Ertrag negativ zum Rohproteingehalt korreliert. Bei ausreichenden Preiszuschlägen für hohe Proteingehalte ist es durchaus interessant E- und A-Weizen mit 14 bzw. 13 % Rohproteingehalt zu produzieren. Unter den Bedingungen der Düngebedarfsermittlung der neuen DüV ist dies bei guten Ertragserwartungen nur auf guten tiefgründigen Böden, bei hoher Stickstoffnachlieferung und proteinbetonten Sorten sinnvoll. Ackerbaulich günstige Regionen mit begrenztem Ertragspotential (z. B. Teile Unterfrankens) ermöglichen ebenfalls die Produktion von Partien mit höheren Proteingehalten. Die Erfahrungen am eigenen Standort sind eine wichtige Entscheidungsgrundlage. Spontan, KWS Emerick und SU Jonte besitzen einen höheren Rohproteingehalt, der die 13 % RP eher ermöglicht. Für den E-Weizen ist Axioma empfohlen. Gute Backweizenpartien mit angemessenen Proteingehalten werden meist die besseren Exportchancen aus Bayern heraus besitzen. Strategien zur qualitätsgerechten Vermarktung von sehr gut backfähigen Sorten wie Apostel, RGT Reform und Asory, die aber häufig nur mittlere Proteingehalte aufweisen, sind regional und überregional nur teilweise vorhanden.

Grundsätzlich entzieht das Wintergetreide den gelösten Bodenstickstoff fast vollständig. Bei erkennbarer Trockenheit sollte die Düngung jedoch rechtzeitig reduziert werden, um keine großen N-Überschüsse nach der Ernte auf dem Feld zu haben. Ein gleichmäßiger Bestandsaufbau wird durch die Verteilung der Stickstoffdüngungsgaben erreicht. Eine mäßige Düngung im Frühjahr sichert eine ausreichende Bestockung des Bestandes, soll aber keine überzähligen Nebentriebe fördern. Ebenso sollte die N-Düngung zum Schossen (Entwicklungsstadium 31) den Weizen nicht anregen, unproduktiven Nebentriebe mitzuziehen. In vielen Regionen ist beim Erscheinen des Fahnenblattes noch ausreichend Wasser für eine gute Ausnutzung der frühen Spätdüngungsgabe (Entwicklungsstadium 37-39) vorhanden, die für die Ertragsbildung und Proteineinlagerung benötigt wird. In Trockenregionen muss durch Vorziehen der Spätdüngung eine sichere Wirkung

gewährleistet werden. Stabilisierte Düngerformen können sinnvoll sein. Ein gleichmäßiger, nicht zu dichter Bestand weist eine geringe Krankheitsanfälligkeit sowie gute Standfestigkeit auf, was wesentlich für hohe Erträge und eine gute Stickstoffausnutzung ist. Bedarfsgerechter Pflanzenschutz kann dies unterstützen.

4.5 Korrekturen im Vegetationsverlauf

Autor: Dr. Matthias Wendland

Die Düngebedarfsermittlung ist eine sichere Grundlage für die Planung zu Beginn der Saison. Im Vegetationsverlauf können sich jedoch aufgrund der aktuellen Witterung jahresspezifische Abweichungen vor allem bei der Bodennachlieferung oder der Wirksamkeit der organischen Dünger ergeben. Die N-Nachlieferung während der Vegetation wird vorrangig durch Temperatur, Bodenfeuchte sowie Menge und N-Gehalte leicht zersetzbarer Ernterückstände der Vorfrucht oder organischer Dünger bestimmt (Abbildung 36). Diese gilt es zu beobachten und/oder zu messen und die Düngung eventuell auch unter den berechneten Bedarf zu reduzieren.

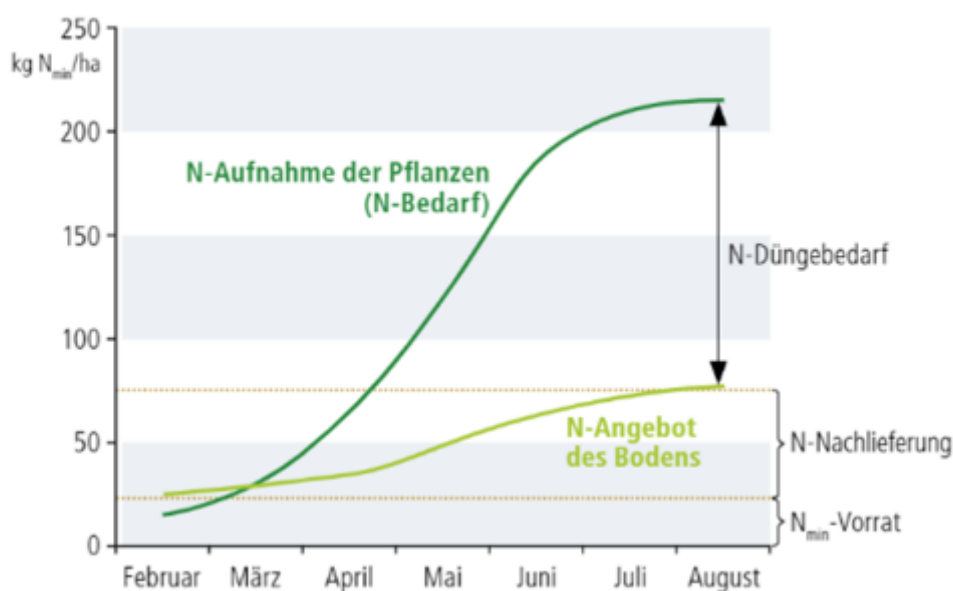


Abbildung 36: Nährstoffaufnahme und Nachlieferung des Bodens (AID, 2013)

Düngefenster

Eine einfache, aber sehr effektive Maßnahme zur Feststellung des Anpassungsbedarfs ist die Anlage von Düngefenstern. Dazu werden an einheitlichen, für den Schlag typischen Stellen ca. 100 m² große Beobachtungspartellen angelegt, in denen durch Steigerung der Fahrgeschwindigkeit eine um 20 - 30 kg N/ha geringere Düngung ausgebracht wird. Sobald Farbaufhellungen in diesem Bereich auftreten, kann mit einem beginnenden N-Mangel gerechnet werden. Mit dieser Methode kann die jahrgangsspezifische Bodennachlieferung und die Wirkung der organischen Düngung sehr gut beurteilt werden. Es kann jedoch auch sein, dass die erste Gabe zu hoch ausgefallen ist. Bei ausreichendem Versorgungszustand der Pflanzen im Düngefenster kann die nächste Gabe verschoben, verringert oder sogar ganz gestrichen werden. Bei der zweiten Gabe ist ebenso zu verfahren, wobei ein anderer Ort für das Fenster gewählt werden sollte.

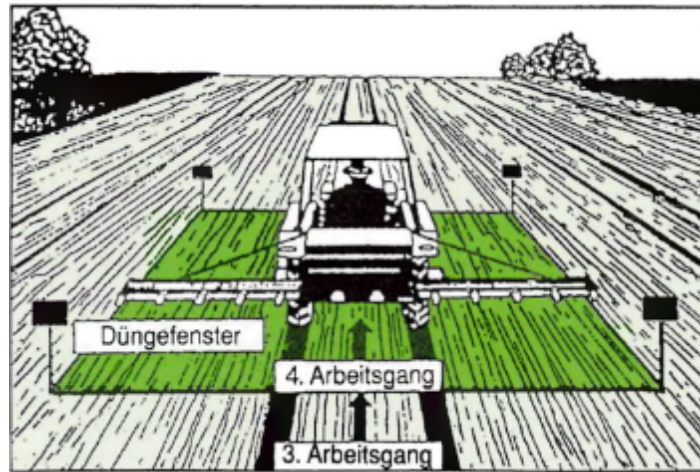


Abbildung 37: Düngefenster (Landwirtschaftlicher Pflanzenbau, 2014)

N-Tester

Der N-Tester misst die Chlorophyll-Konzentration im Getreideblatt, die vom Stickstoff-Gehalt der Pflanze abhängig ist. Die Messung erfolgt in der Mitte der Blattspreite des jeweils jüngsten vollentwickelten Blattes und muss an mindestens 30 zufällig im Bestand ausgewählten Pflanzen erfolgen. Nachdem bei der Auswahl der Blätter und der Messung leicht Fehler auftreten können, ist es empfehlenswert, die Anzahl der Blätter mindestens zu verdoppeln. Das Gerät berechnet über eine App unter Berücksichtigung weiterer schlagspezifischer Faktoren wie Sorte, Ertrag und bisher ausgebrachter Dünger den aktuellen Stickstoffbedarf. Die Methode erlaubt eine Abschätzung der N-Nachlieferung aus dem Boden sowie der organischen Düngung. Es muss darauf geachtet werden, dass keine anderen Nährstoffmängel vorliegen und mit den empfohlenen Düngermengen die Höchstgrenzen der DüV nicht überschritten werden. In die Empfehlung gehen auch Preise der Ernteprodukte und von Düngemitteln ein, um nicht nur das ertragliche, sondern auch das wirtschaftliche Optimum zu erzielen. Vergleichende Versuche der LfL zeigen, dass die Empfehlungen des N-Testers im Mittel etwas über dem Düngesoptimum liegen. Sie sind daher als alleinige Maßnahme kritisch zu beurteilen, Tendenzen sind jedoch erkennbar.

N-Sensoren und Digitalisierung

Im Bereich der Düngung wächst der Handlungsdruck auf landwirtschaftliche Betriebe aufgrund möglicher negativer Umwelteffekte. Dies drückt sich unter anderem in gesellschaftspolitischen Forderungen nach einer gewässerschonenden Düngung aus. Da landwirtschaftliche Nutzflächen deutliche Bodenheterogenitäten aufweisen können (Abbildung 38) und diese Heterogenitäten zu Unterschieden im Ertragspotenzial sowie in der Nährstoffaufnahme führen, hat dies Konsequenzen für den Düngbedarf auf der jeweiligen Teilfläche. Eine einheitliche Düngung auf heterogenen Standorten führt zu Nährstoffüber- bzw. Nährstoffunterbilanzen in den jeweiligen Teilflächen mit entsprechenden ökologischen wie auch ökonomischen Nachteilen. Die Digitalisierung in der Landwirtschaft bietet in Form der teilflächenspezifischen Düngung einen Ansatzpunkt, um auf die beschriebenen Bodenheterogenitäten zu reagieren.

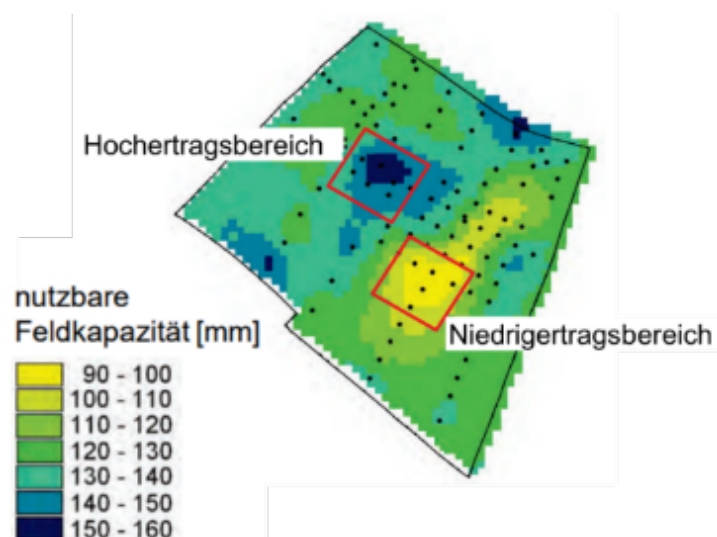


Abbildung 38: Je nach Standort können Hoch- und Niedrigertragsbereiche eng beieinander liegen und zugleich stark ausgeprägt sein (Maidl et al. 2014)

Verfügbare Technologien und Ansätze

Zur Umsetzung einer teilflächenspezifischen Düngung ist es zuallererst notwendig, die Bodenheterogenität in einem Feld zu erfassen. Bei diesem Vorgehen stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: (1) die Bodenheterogenität direkt z. B. mit speziellen Bodensensoren zu messen oder Bodenproben zu entnehmen und diese im Labor zu analysieren oder (2) die Variabilität des Pflanzenbestandes eines Feldes als Indikator für die Bodenheterogenität zu verstehen und für deren Erfassung optische Sensoren einzusetzen. Optische Sensoren messen meistens die Reflexion verschiedener Wellenlängen des Lichts durch den Pflanzenbestand. Manchmal arbeiten sie auch nach den Prinzipien Transmission oder Fluoreszenz. Aus der Verrechnung der Messwerte verschiedener Wellenlängen werden Kennzahlen, sogenannte Vegetationsindizes abgeleitet, die Rückschlüsse auf die Biomasse bzw. den Nährstoffstatus des Pflanzenbestandes zulassen. Die optischen Sensoren sind als Handgeräte oder traktorgetragene Systeme marktverfügbar. Es können aber auch Drohnen oder Satelliten mit entsprechender Sensorik ausgestattet sein. Selbstverständlich können als Indikator für die Bodenheterogenität auch Mähdrrescherertragskarten genutzt werden, sofern der Mähdrrescher mit einem ausreichend präzisen und kalibrierten Ertragserfassungssystem ausgestattet ist.

Was den Ablauf der Informationsgewinnung sowie der Düngepfung angeht, dienen Handgeräte überwiegend der Bestimmung des Nährstoffbedarfs für einen ganzen Feldschlag und somit der flächeneinheitlichen Düngung, traktor- und satellitengetragene Sensorsysteme dienen der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. Auch die Ertragserfassung über Mähdrrescher oder andere Informationsgrundlagen sowie die davon abgeleiteten Ertragspotenzialkarten dienen der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung.

Hinsichtlich der Verfahren der teilflächenspezifischen Düngung unterscheidet man drei Ansätze: Online-Ansätze basierend auf in Echtzeit gewonnenen Sensordaten, Mapping-Ansätze basierend auf bereits bekannten oder historischen Informationen und die Kombination aus beiden, sogenannte Online mit Map-Overlay-Ansätze (Abbildung 39).

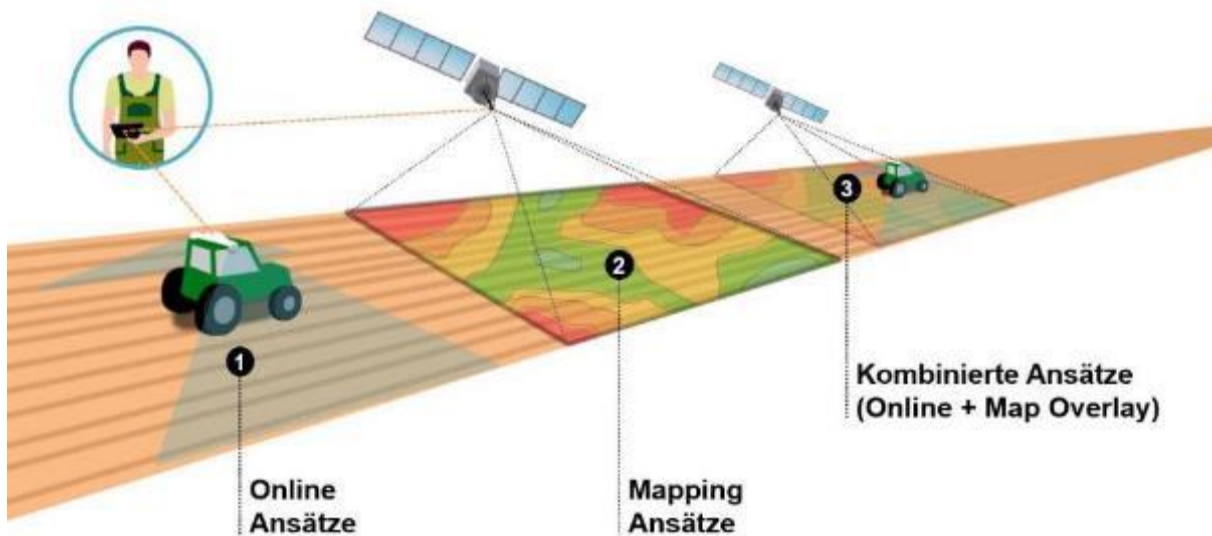


Abbildung 39: Verfahrensansätze zur teilflächenspezifischen Düngung von Pflanzenbeständen

Beim Mapping-Ansatz wird der Dünger z. B. nach Bodenkarten, langjährigen Ertragskarten aus Mäh-drescherdaten oder langjährigen Biomassekarten aus Satellitenaufnahmen verteilt. Online-Ansätze erfordern einen Sensor am Traktor. Über diese Daten wird der Düngerstreuer direkt geregelt. In kombinierten Ansätzen (Online mit Map-Overlay) werden die Sensordaten am Traktor beispielsweise mit hinterlegten Ertrags- oder Biomassekarten für das jeweilige Feld kombiniert.

Betriebliche Voraussetzungen

Handgeräte benötigen keine spezielle technische Infrastruktur. Alle anderen Systeme erfordern eine Düngetechnik, die eine Möglichkeit zur variablen Ausbringung des Düngers besitzt, damit die Sensor- oder Karteninformationen auch kleinräumig umgesetzt werden können. Weiterhin ist zur Positionsbestimmung ein präzises Satellitensignal notwendig, das häufig schon aufgrund eines vorhandenen Lenksystems nicht mehr zusätzlich bereitgestellt werden muss. Es besteht allerdings auch die Möglichkeit, erste Erfahrungen mit der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung zu sammeln, falls die genannten technischen Voraussetzungen nicht gegeben sind. So bieten beispielsweise App-Anbieter wie Solorrow (SBI, 2023) einen Fahrmodus an. Man benötigt lediglich ein Smartphone oder am besten aufgrund des größeren Displays ein Tablet, das zur Anzeige der satellitendatenbasierten Applikationskarte und zur Navigation/Orientierung innerhalb des Feldes genutzt wird.

Kosten der Technologie

Mit Stand 2024 beginnen die Anschaffungskosten für Handgeräte bei unter 1.000 €. Die traktormontierten Sensorsysteme bewegen sich je nach Ausstattung und Hersteller innerhalb einer Spannweite von 15.000 bis 35.000 €. Einfache satellitenbasierte Biomassekarten werden im Bereich von wenigen €/ha angeboten. Werden zusätzliche Informationen angeboten (N-Aufnahmekarte, Düngungsempfehlung, Ertragsprognose), dann können die Preise auf bis zu 40 €/ha steigen. Hinzu kommen im Falle der Teilschlagdüngung zusätzliche Technikkosten für die Düngerausbringung je nach vorhandener Applikationstechnik (z. B. für GNSS-Empfänger, Terminal und Softwarefreischaltungen). Wer bereits ein Lenksystem besitzt, benötigt keinen zusätzlichen GNSS-Empfänger. Die laufenden Kosten der beschriebenen Tools zur teilflächenspezifischen Düngung unterscheiden sich zwischen den Anbietern ebenfalls stark. Sie umfassen bei Sensorsystemen in unregelmäßigen Abständen Softwareupdates, wohingegen eine hektarbasierte Nutzungsgebühr entfällt. Lösungen auf Basis von Satellitendaten werden oft mit einer Kombination aus Betriebspauschale und flächenabhängiger Gebühr

abgerechnet, was bei größeren Einsatzflächen zu relativ hohen Kosten führen kann. Bei der Einordnung der Kosten ist ebenso anzumerken, dass sich die Anbieter oft im technischen Aufwand bis zur Erstellung von Applikationskarten sowie bei der Bedienerfreundlichkeit der Systeme unterscheiden.

Chancen und Grenzen der Technologien

Bei der Beurteilung eines bestimmten Ansatzes zur teilflächenspezifischen Düngung sind grundsätzlich zwei wichtige Fragen zu beantworten:

- (1) Wurde die Bodenheterogenität korrekt erfasst?
- (2) Ist die auf Basis der erfassten Bodenheterogenität angewandte teilflächenspezifische Düngestrategie zielführend?

An dieser Stelle kommen Düngelgorithmen ins Spiel. Nur bei korrekter Anwendung effizienter Düngelgorithmen können durch eine teilflächenspezifische Düngung positive Umwelteffekte erreicht werden (Argento et al. 2022, Maidl et al. 2022). Bei hohen Betriebsmittelpreisen besteht zudem die Möglichkeit, bei passender Düngestrategie kostensparend zu düngen. Ein guter Algorithmus muss in der Lage sein, neben den teilflächenspezifischen Heterogenitäten auf Jahreswitterungs- und Managementeffekte zu reagieren. Eine bedarfsgerechte Bemessung bzw. Umverteilung der N-Düngermengen ermöglicht eine Reduzierung positiver N-Salden insbesondere auf Teilflächen mit niedrigem Ertragspotential, ohne die Ertragsfähigkeit eines Standortes negativ zu beeinflussen. Ältere Studien beschreiben eine mögliche Absenkung des Düngenniveaus von 25 - 34 kg N/ha ohne monetäre Verluste (Schneider & Wagner 2008), durch den Fortschritt bei Messmethoden und Algorithmen weisen neuere Untersuchungen noch höhere mögliche Einsparpotentiale an Düngestickstoff bei einer gleichzeitig hohen N-Ausnutzung aus (Maidl et al. 2022, Prücklmaier, 2020, Hülsbergen et al. 2017).

Digitale Düngesysteme können den Landwirten nicht nur dabei helfen, den eingesetzten Dünger teilflächenspezifisch sinnvoll zu verteilen, sie sind bei Vorhandensein zielführender Algorithmen außerdem in der Lage, die absolute Höhe der Düngermenge festzulegen (Maidl 2012, Vinzent et al. 2019, Maidl et al. 2022) und damit eine wertvolle Entscheidungsunterstützung zu geben. Hier stellt sich unter anderem die Frage, ob es mittlerweile kostengünstige und anwenderfreundliche Alternativen zu den bekannten traktorgebundenen Sensorsystemen gibt. So gibt es seit einigen Jahren zunehmend Lösungen, die beispielsweise fernerkundungsgestützte Daten („Satellitendaten“) verwenden. Ein Vorteil dieser Düngesysteme – die in der Regel als Mapping-Ansatz zu charakterisieren sind – ist, dass die N-Düngung vor dem Befahren des Feldes geplant wird. So kann auf rechtliche schlagbezogene Restriktionen bei der Düngung beispielsweise durch die DüV bereits während der Planung reagiert werden.

Erfahrungen aus Feldversuchen zeigen, dass mit digitalen Düngetools (Vinzent et al. 2023) im mehrjährigen Durchschnitt hohe Erträge und Qualitäten erzielt werden können – auch wenn wenig Kenntnis über die Fläche vorliegt, z. B. beim Erwerb neuer Pachtflächen. Eine Voraussetzung für die korrekte Bemessung einer absoluten N-Düngermengenempfehlung (die sich an der aktuellen Situation des Pflanzenbestandes orientiert) wie auch für die teilflächenspezifische Verteilung der Düngung ist bei diesen Ansätzen die Verfügbarkeit aktueller Satellitenbilder. Aus LfL-Versuchsergebnissen der Jahre 2020 - 2023 ist ersichtlich, dass die Zahl der verfügbaren Satellitenbilder ohne störende Umwelteinflüsse, wie z. B. Bewölkung, stark eingeschränkt sein kann (Vinzent et al. 2023), was die Leistungsfähigkeit der Systeme im Vergleich zu traktorgebundenen Sensorsystemen schmälert. In einzelnen Jahren betrug die Zeit zwischen zwei verwertbaren Satellitenbildern bis zu vier Wochen, was die Präzision der Aussage über Biomasseentwicklung und N-Aufnahme des Pflanzenbestandes stark herabsetzen kann. Manche digitale Düngetools haben für den Fall unzureichender Fernerkundungsdaten verschiedene Kompensationsansätze, sei es die Einbindung von witterungsunabhängigen Handsensoren oder die Zuhilfenahme von Pflanzenwachstumsmodellen bzw. grob ermittelten

mehrfährigen Durchschnittswerten der Biomassezuwächse. Wer diese Unsicherheit ausschließen möchte, kann auf traktorgebundene Sensorsysteme setzen.

Sensor

Pflanzen reflektieren das Licht verschiedener Wellenlängen in Abhängigkeit vom Chlorophyllgehalt und der gebildeten Biomasse. Das nutzen die Sensoren, indem sie die Lichtreflexion messen und daraus über verschiedene hinterlegte pflanzenbauliche Algorithmen den Düngebedarf bestimmen.

Wie Abbildung 40 zeigt, kann bei einem flächenhaften Einsatz des Sensors auch ohne mapping bereits eine Verringerung des Düngenniveaus bei gleichbleibenden Erträgen erreicht werden. Eine Düngung nach Empfehlung des N-Sensors brachte einen Ertrag von 100,6 dt./ha beim Einsatz von 200 kg N. Ein ähnlicher Ertrag wurde mit der Variante 210 kg N erreicht. Erfahrungsgemäß lassen sich durch den Sensoreinsatz 10 bis 20 kg N/ha sparen mit positiven Auswirkungen auf die N-Bilanz (Abbildung 41).

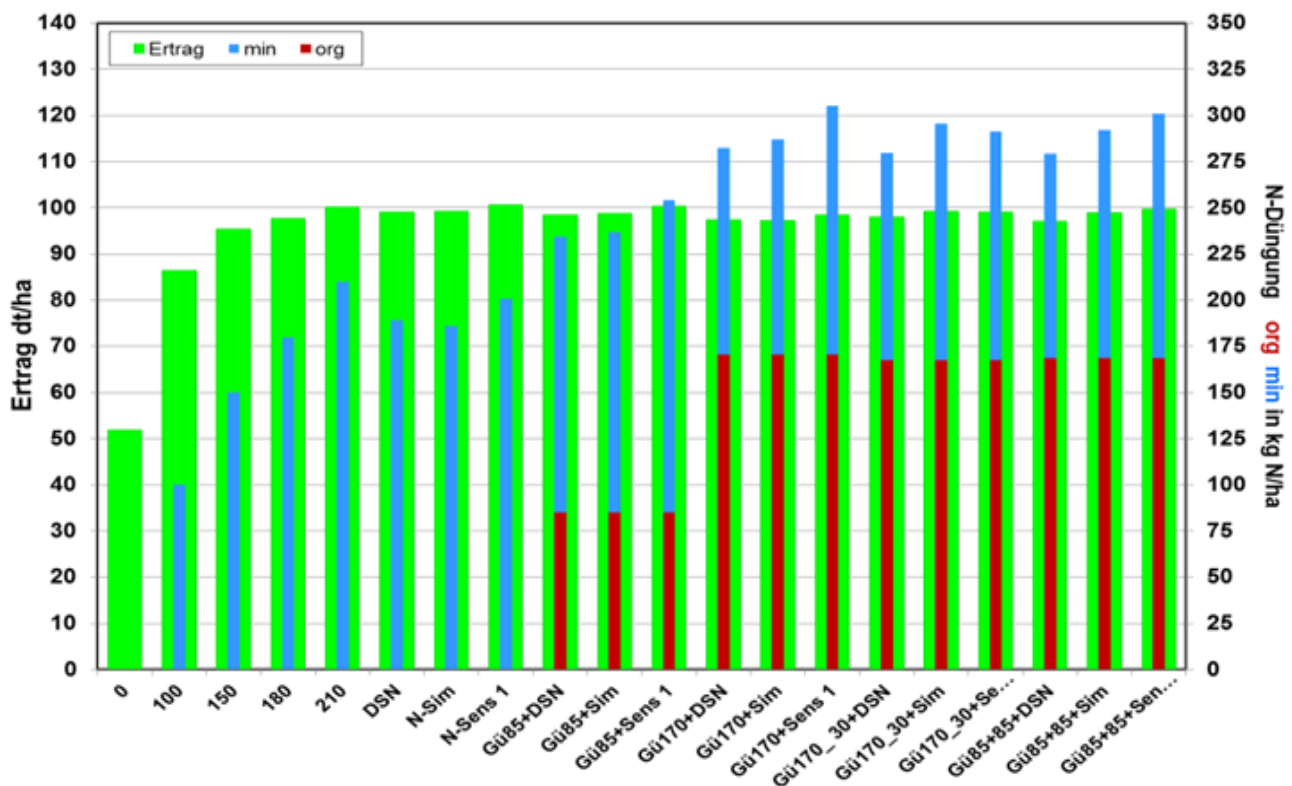


Abbildung 40: Erträge bei verschiedenen Düngesystemen zu Winterweizen, Mittel aus 2015 bis 2017, alle Orte, n=15, Datengrundlage: LfL-Versuche, siehe auch <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/137713/index.php>

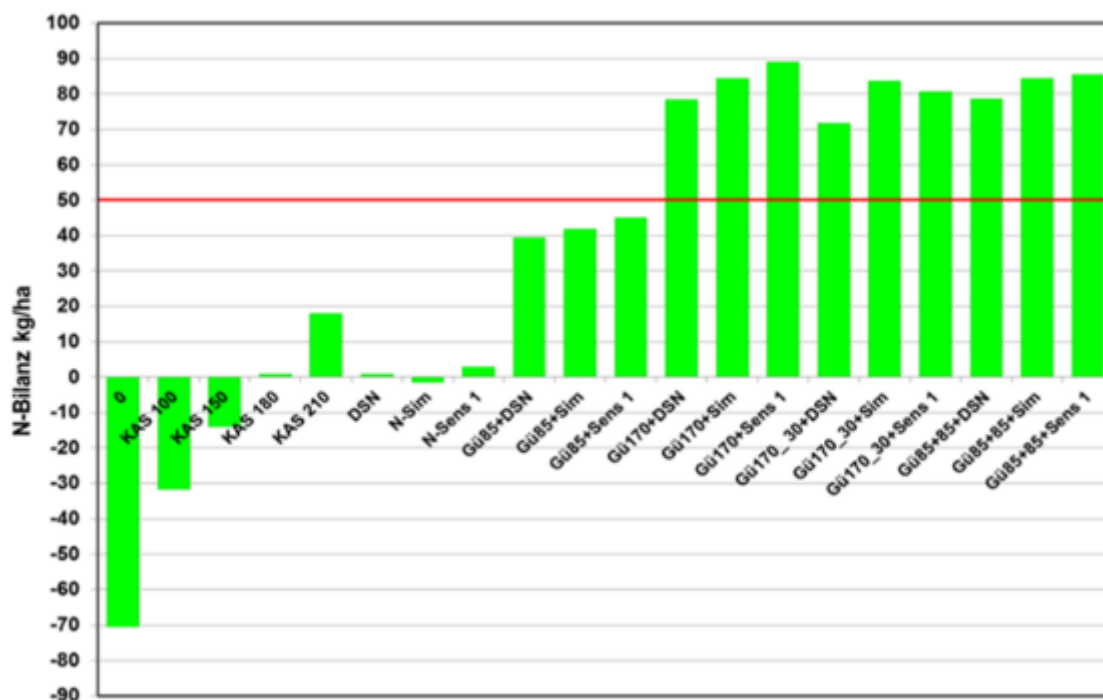


Abbildung 41: N-Bilanz bei verschiedenen Düngesystemen zu Winterweizen, Mittel aus 2015 bis 2017, alle Orte, n=15, Datengrundlage: LfL-Versuche

Zu beachten ist beim Einsatz der Sensoren, dass die zulässige Düngungshöchstmenge nach der Düngesplanung nicht überschritten wird.

4.6 Maßnahmen nach der Ernte

Herbst-N_{min}

Der Herbst-N_{min}-Wert weist den Stickstoffgehalt des Bodens aus, der in der vegetationsfreien Zeit über den Winter einem erhöhten Auswaschungsrisiko unterliegt. Das Erreichen eines möglichst niedrigen Wertes gehört zu den wichtigsten und effektivsten Grundwasserschutzmaßnahmen. Herbst-N_{min}-Untersuchungen sind auch gut geeignet, die eigenen Düngungsmaßnahmen zur vorausgehenden Kultur zu beurteilen, am besten zusammen mit Nachernte-N_{min}-Untersuchungen. Dieser Wert zeigt unmittelbar die Stickstoffmengen an, die nach der Ernte noch im Boden sind und von der angebauten Kultur nicht aufgenommen wurden. Der Vergleich mit dem Herbst-N_{min} erlaubt die Beurteilung aller Maßnahmen in der Zwischenzeit (Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau). Reststickstoffmengen im Herbst deutlich über 30 kg N/ha erfordern dringend zusätzliche grundwasserschonende Maßnahmen (vgl. Kapitel 1). Neben der Düngungshöhe zur vorausgegangenen Kultur gibt es deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der angebauten Frucht, der Bodenbearbeitung und dem Zwischenfruchtanbau.

Voraussetzung für ein verwertbares Untersuchungsergebnis ist eine korrekte und repräsentative Bodenprobenahme. Dabei sind insbesondere die Anzahl der Einstiche, die Probenahmetiefe und der sachgerechte Umgang mit der Probe zu beachten. Die Untersuchung auf pflanzenverfügbaren Stickstoff (N_{min}) ist nur auf Acker sinnvoll und erfolgt i.d.R. bis auf eine Tiefe von 90 cm (0 - 30 cm, 30 - 60 cm, 60 - 90 cm). Die Tiefe von 60 bis 90 cm kann auch berechnet werden. Zwischen der N_{min}-Probenahme und der letzten Bodenbearbeitung sowie Düngung sollten mindestens vier bis sechs Wochen liegen. Der Probenahmetermin liegt im November nach Vegetationsende.

Bodenbearbeitung

Gewässerschonende Maßnahmen im Bereich Bodenbearbeitung zielen auf eine Reduzierung der N-Freisetzung im Herbst und damit auf eine Reduzierung der Herbst- $N_{\min}$ -Werte ab. Das Verschieben der wendenden Bodenbearbeitung nach der Ernte senkt die Werte deutlich (Abbildung 42). Die Durchführung der Bodenbearbeitung erst zum Vegetationsende senkte den $N_{\min}$ -Wert im Durchschnitt um 20 kg N/ha, da die Mineralisation aufgrund der niedrigeren Bodentemperaturen zum Jahresende stark vermindert wurde (LfL 10 Jahre Stickstoffmonitoring). Beim Anbau von Sommerungen ist unter Berücksichtigung der förderrechtlichen GLÖZ-Vorgaben zu prüfen, ob die Bodenbearbeitung erst im Frühjahr erfolgen kann/darf.

Jeder eingesparte Bearbeitungsgang mindert die Mineralisation. Wenn unbedingt nötig, sollte die Bearbeitung möglichst flach erfolgen.

Auch die Art der Bearbeitung ist entscheidend (Abbildung 43). Mit der Intensität der Bodenbearbeitung steigt der $N_{\min}$ -Wert besonders zum Vegetationsende und im Frühjahr.

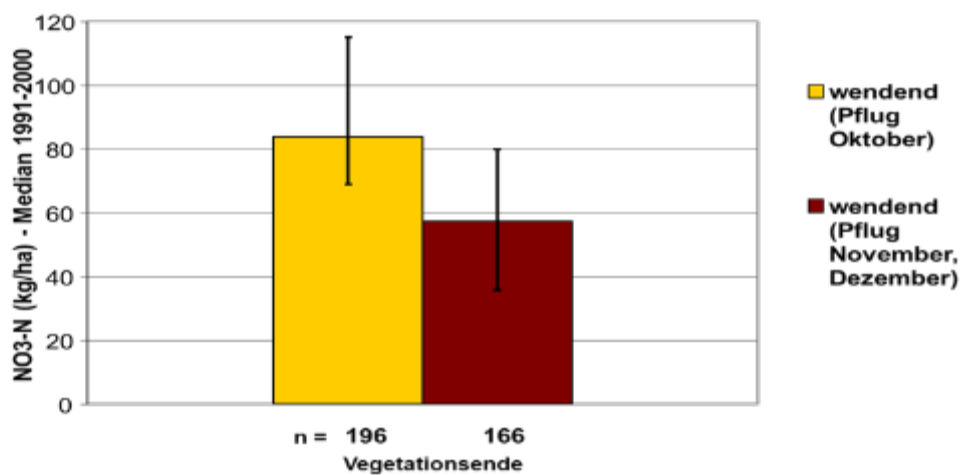


Abbildung 42: $N_{\min}$ -Gehalte (0 bis 90 cm) in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der wendenden Bodenbearbeitung, Datengrundlage: LfL-Versuche

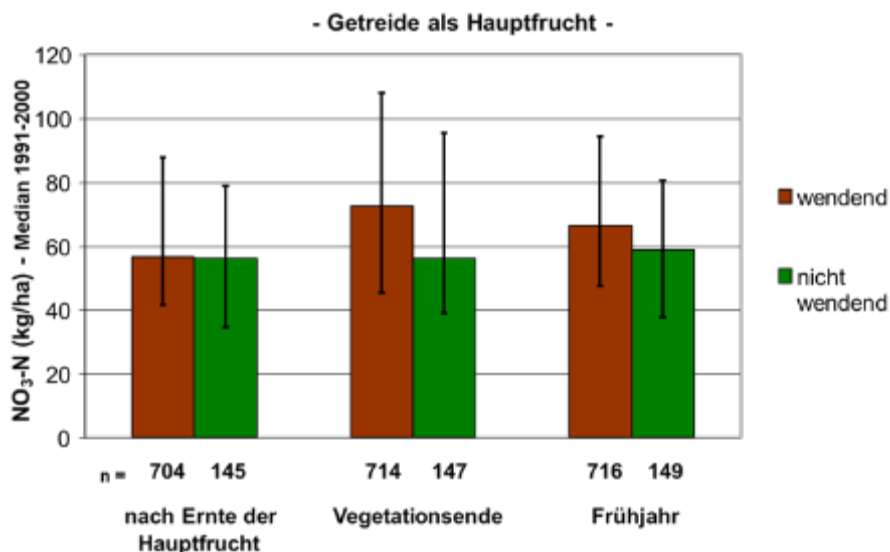


Abbildung 43: $N_{\min}$ -Gehalte (0 bis 90 cm) in Abhängigkeit von der Grundbodenbearbeitung, Datengrundlage: LfL-Versuche

Kulturen

Fruchtartsspezifisch variieren die Herbst- $N_{\min}$ -Werte stark. Die höchsten Werte wurden beim zehnjährigen Stickstoffmonitoring der LfL von 1991 bis 2000 (siehe auch: <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/032228/>) nach Raps, Mais und Kartoffeln gemessen (Abbildung 44). Natürlich wird deswegen kaum ein Landwirt auf diese Kulturen verzichten. Er muss sich jedoch bewusst sein, dass nur mit einem nachfolgenden Zwischenfruchtanbau eine überwiegende Auswaschung des restlichen Stickstoffs über den Winter vermieden werden kann. Mit Untersaaten kann zudem der Nachernte- und Herbst- $N_{\min}$ -Wert deutlich reduziert werden.

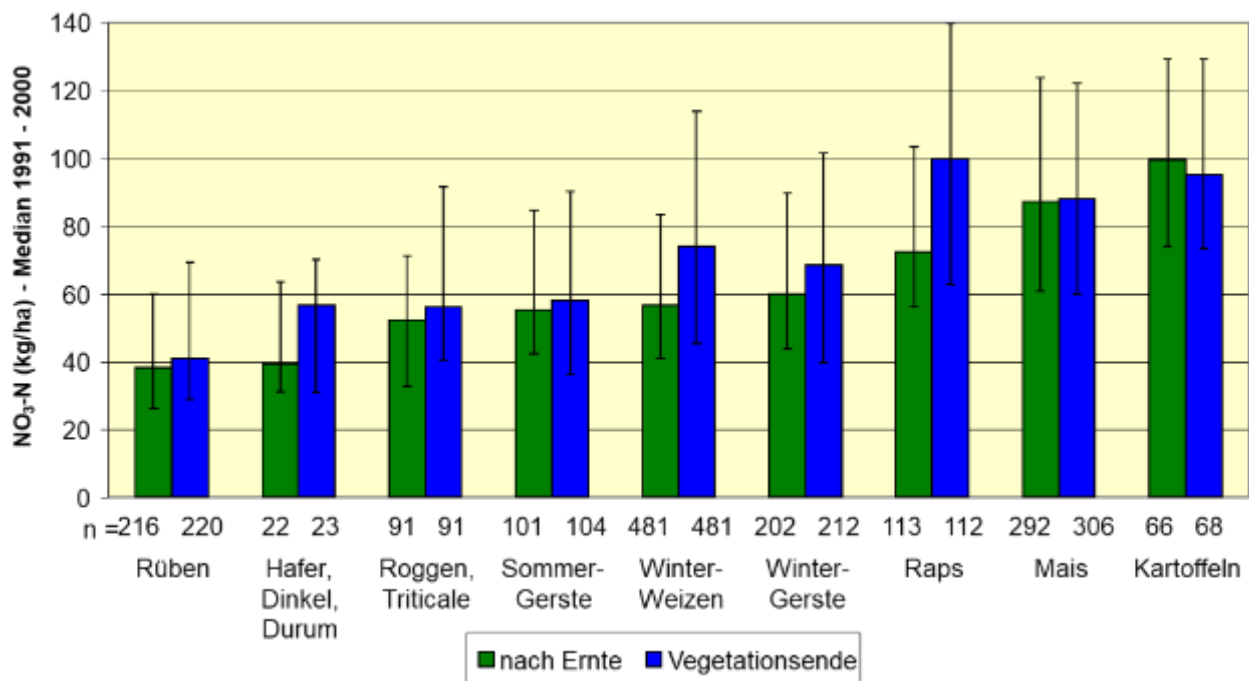


Abbildung 44: $N_{\min}$ -Gehalte (0 bis 90 cm) in Abhängigkeit von der Hauptfrucht, Datengrundlage: LfL-Versuche

Zwischenfruchtanbau

Zwischenfrüchte haben viele Vorteile: Sie dienen der Bodenfruchtbarkeit, verbessern die Bodengesundheit, verhindern Erosion und können zusätzliches Futter liefern. Der Anbau von Zwischenfrüchten ist zudem das effektivste Werkzeug um den Herbst- $N_{\min}$ -Gehalt zu senken, den Reststickstoff über den Winter vor der Auswaschung zu schützen und ihn für die nachfolgende Sommerung wieder zur Verfügung zu stellen. Zu Vegetationsbeginn ist der wesentliche Stickstoff in den oberen Bodenschichten (0 - 60 cm) zu finden (Abbildung 45).

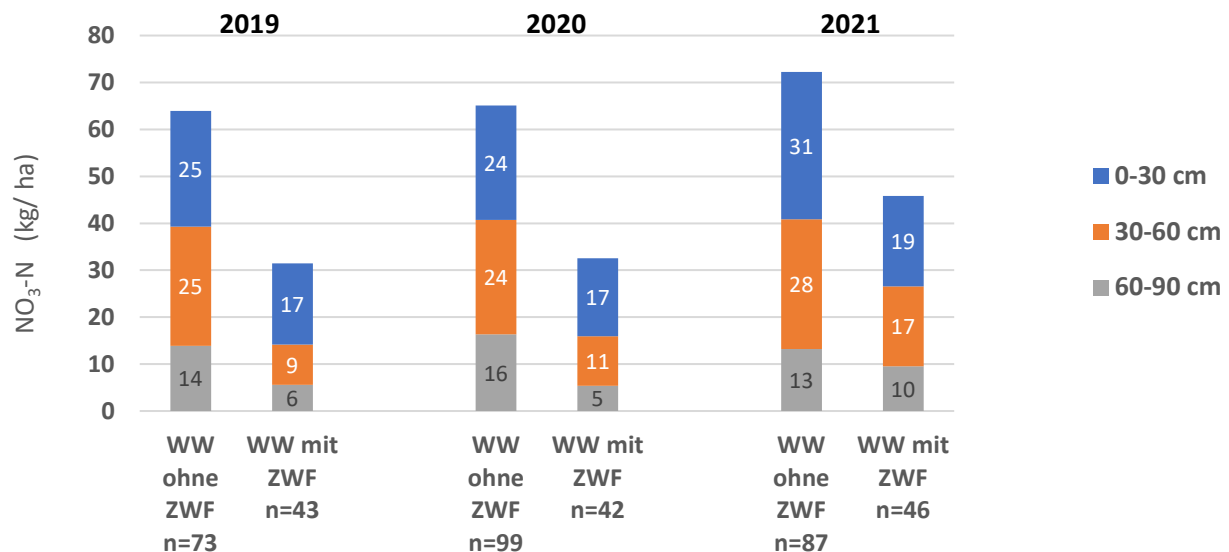


Abbildung 45: Herbst- N_{min} -Monitoring 2019 - 2021 – Verteilung von Nitrat im Bodenprofil nach Winterweizen mit und ohne Zwischenfrüchte (n=Anzahl der Proben)

Durch den Anbau von Zwischenfrüchten konnte der Nitratstickstoffgehalt im Boden auf den Monitoringflächen 2019 - 2021 im Mittel um 30 kg NO_3-N/ha reduziert werden. Je früher eine Zwischenfrucht ausgesät wird und je mehr Pflanzenmasse gebildet wird, desto mehr Stickstoff wird aufgenommen und desto größer ist der Effekt im Sinne des Grundwasserschutzes. Grundvoraussetzung ist der Anbau der Zwischenfrüchte spätestens bis 8 Tage nach der Ernte mit reduzierter bzw. möglichst geringer Bodenbearbeitung.

Es gibt inzwischen zahlreiche Zwischenfruchtarten als Reinsaat oder Gemenge. Für den Gewässerschutz ist eine frühe Aussaat, gute Jugendentwicklung und eine hohe N-Aufnahme entscheidend. Auch ein gut auflaufender Ausfallraps hat ein hohes N-Bindungsvermögen.

Leguminosen sind sowohl als Reinsaat als auch als Bestandteil von Gemengen bei der langjährigen Anwendung organischer Dünger für den Grundwasserschutz nicht geeignet, da sie zusätzlichen Stickstoff zu einem ungünstigen Zeitpunkt in die Flächen und ins gesamtbetriebliche System bringen. Wurde auf einem Schlag Kohlhernie festgestellt, dürfen dort keine Kreuzblütler mehr angebaut werden. Bei sehr spät räumenden Hauptfrüchten kann mit dem sonst eher nicht zu empfehlenden, aber weit verbreiteten Senf als Zwischenfrucht noch ein ausreichendes Massenwachstum erreicht werden, das ebenso für die Mulchsaatverfahren von Mais und Rüben genutzt wird. Für diese Kulturen, vor allem bei Mais, sind auch Untersaaten geeignet. Sie werden nach Aufgang der Hauptkultur gesät, entwickeln sich unter dieser spärlich, haben aber nach der Ernte bei geeigneten Witterungsbedingungen eine schnelle Entwicklung. Besonders geeignet sind Weidelgrasuntersaaten. Die Wirkung von Untersaaten ist direkt nach der Ernte gesät und überwinterten Zwischenfrüchten gleichzusetzen. Eine mangelnde Entwicklung oder teilweise Ausfälle unter der Hauptkultur werden durch das unmittelbar einsetzende Wachstum nach der Hauptfruchternte im Vergleich zu einer nachfolgend angebauten Zwischenfrucht kompensiert. Gerade in Trockengebieten können Untersaaten von Vorteil sein, wenn zum Auflaufen der Zwischenfrüchte oftmals die erforderliche Bodenfeuchtigkeit fehlt.

Am besten geeignet sind nicht abfrierende Zwischenfrüchte, da sie zum einen in wärmeren Perioden noch zusätzlich Stickstoff aufnehmen und zum anderen keine Mineralisation von abgefrorenem Blattmaterial über die Wintermonate stattfindet. Der Umbruch der Zwischenfrüchte sollte möglichst nah am Aussattermin der Folgefrucht liegen.

Wie erwähnt, binden Zwischenfrüchte Reststickstoff aus dem Boden, können ihn in unterschiedlicher Höhe bis zur kommenden Anbauperiode konservieren und der Folgefrucht einen Teil davon zur Verfügung stellen. In der von der DüV vorgeschriebenen Düngebedarfsermittlung ist dafür in Abhängigkeit von der Zwischenfrucht ein Abschlag vom Düngebedarf vorzunehmen. Der Abschlag variiert zwischen 0 kg N bei abgefrorenen Nichtleguminosen und 40 kg N bei nicht abgefrorenen Leguminosen, die im Frühjahr eingearbeitet werden. In Versuchen hat sich gezeigt, dass nach gut entwickelten Zwischenfrüchten fast immer ein positiver Ertragseffekt zu erwarten ist, der einen zusätzlichen Abschlag von mindestens 10 kg N in der Bedarfsermittlung ermöglicht. Im ökologischen Landbau stellen sich bei nicht legumen Zwischenfrüchten keine Ertragseffekte ein, da sie sich durch den fehlenden Stickstoff nur schwach entwickeln.

Nur für reine Ackerbaubetriebe ohne organische Düngung bieten sich abfrierende Leguminosenzwischenfrüchte an, um Luftstickstoff zu binden und damit Mineraldünger zu ersetzen. In einem langjährigen Dauerversuch (36 Jahre) der LfL (Tabelle 17) konnten abfrierende Leguminosenzwischenfrüchte (Erbsen-Wicken-Gemenge nach Wintergerste) in der dreijährigen Fruchtfolge 73 kg N/ha binden. Der regelmäßige Zwischenfruchtanbau mit Leguminosen schafft die Möglichkeit, erhebliche Mengen an mineralischem N-Dünger einzusparen. Grundvoraussetzung für eine gewässerschonende Wirkung ist aber, dass der so gewonnene Stickstoff in der Düngeplanung berücksichtigt wird.

Tabelle 17: Wirkung von Leguminosenzwischenfrüchten

	Wirkung Leguminosen-Zwischenfrucht in kg N/ha
Fruchtart	Mittel 1984 - 2019
Silomais	51
Winterweizen	15
Wintergerste	7
Summe Rotation	73

Herbst-Düngung

Eine Herbstdüngung, die zwar in beschränktem Ausmaß bis 60 kg N/ha bzw. 30 kg $\text{NH}_4\text{-N/ha}$ düngerechtlich zulässig ist, kann oft der Grund für höhere Nitratwerte im Grundwasser sein. Die Düngung ist nach der DüV zu Zwischenfrüchten (im roten Gebiet nur zur Futternutzung), Winterraps und Feldfutter oder zu Wintergerste nach Getreidevorfrucht (nicht im roten Gebiet) möglich. Beim Anbau von Zwischenfrüchten zum Grundwasserschutz sollte aber bei langjähriger Ausbringung organischer Dünger generell auf eine Düngung verzichtet werden, um sicherzustellen, dass möglichst viel des noch im Boden vorhandenen Stickstoffs aufgenommen wird. Bei Wintergerste führt eine Herbstdüngung, wenn im Frühjahr die N-Düngemenge entsprechend reduziert wird, eher zu Mindererträgen, auch dann wenn das Stroh der Vorfrucht auf der Fläche verblieben ist (Abbildung 46). Auf eine Herbstdüngung kann daher verzichtet werden und der Stickstoff effizienter im Frühjahr eingesetzt werden.

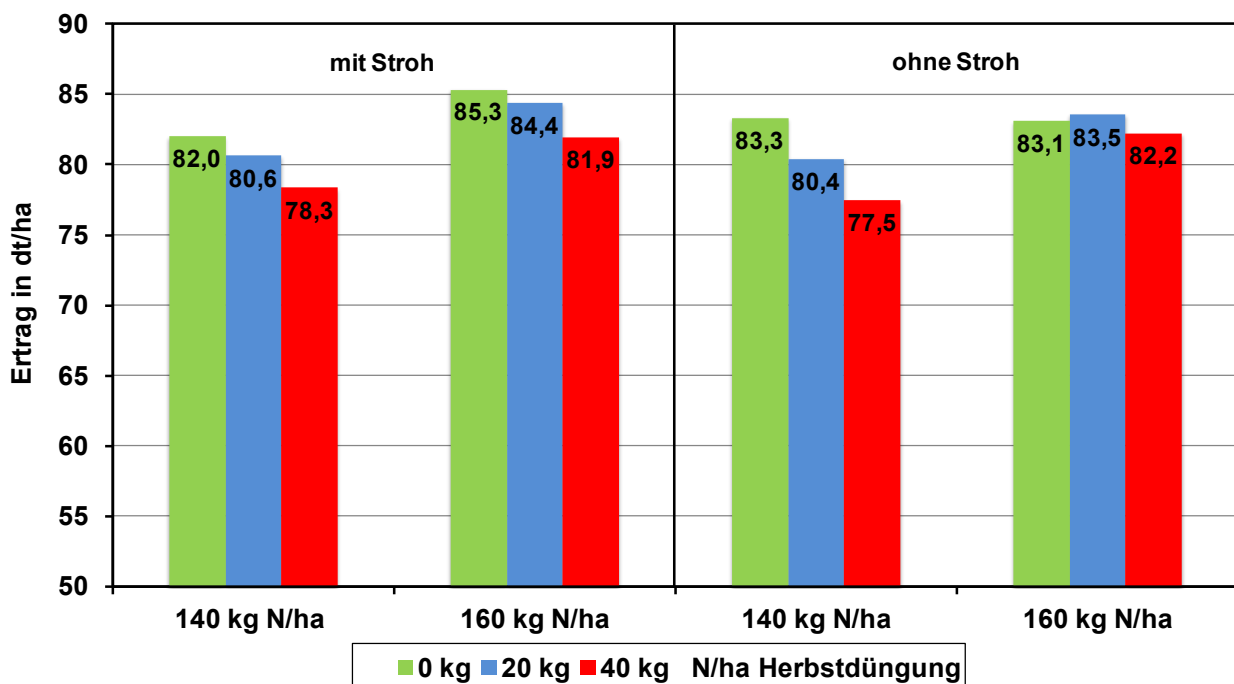


Abbildung 46: Wintergerste-Ertrag mit/ohne Strohdüngung bei Vorfruchternte, Mittel von Puch und Feistenaich, Jahre 2007 bis 2009, $n=6$, Datengrundlage: LfL-Versuche

Bei der Herbstdüngung von Raps ist die Vorgabe der DüV für rote Gebiete auch in den darüber hinausgehenden wassersensiblen Gegenden anzuwenden. Demnach ist eine Herbstdüngung zu unterlassen, wenn der $N_{\min}$ -Wert mehr als 45 kg N beträgt. Der Wert kann durch eine Bodenuntersuchung oder durch die N-Simulation der LfL bestimmt werden.

4.7 Organische Düngung

Organische Düngemittel spielen im Pflanzenbau eine wichtige Rolle. Sie dienen als Nahrungsquelle für die Bodenlebewesen und sind Ausgangsstoff für die Humusbildung. Neben der Zufuhr an organischer Substanz ist die organische Düngung eine wichtige Quelle für Pflanzennährstoffe. Die Vielzahl an enthaltenen Haupt- und Spurennährstoffen machen organische Dünger zu wertvollen Mehrnährstoffdüngern. Die gezielte Rückführung von organischer Substanz und von Nährstoffen auf landwirtschaftliche Flächen ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht sinnvoll und notwendig. Für einen grundwasserschonenden Einsatz dieser Düngemittel ist es wichtig, die betriebsspezifischen Nährstoffgehalte, den Anfall und die fruchtfolgebedingten Lagerkapazitäten zu kennen.

Neben den vielen Vorteilen von organischen Düngern haben sie den Nachteil, dass die Wirksamkeit des Stickstoffs schwierig zu beurteilen ist. Das liegt zum einen an den unterschiedlichen Gehalten von organisch gebundenem Stickstoff und zum anderen daran, dass die zeitnahe Umsetzung und Wirksamkeit von vielen weiteren Faktoren (Temperaturen, Wasserversorgung, Kulturen, Ausbringungstechnik) abhängt. Der Stickstoff der organischen Düngemittel besteht aus zwei Fraktionen: Eine ist in der organischen Substanz gebunden, die andere liegt als leicht verfügbares Ammonium-Ion (NH_4^+) vor. Dieser Anteil kann in seiner Wirksamkeit einem Mineraldünger gleichgesetzt werden, wenn das Ammonium bei und nach der Ausbringung der organischen Düngung nicht gasförmig als Ammoniak entweicht. Aus diesem Grund sollten organische Dünger so ausgebracht werden, dass möglichst wenig Ammoniakverluste entstehen. In flüssigen Düngern wie Gülle, Jauche oder Biogasgärrest liegt

Stickstoff überwiegend als schnell verfügbares Ammonium vor. Feste Dünger haben dagegen einen hohen Anteil an organisch gebundenem Stickstoff, der erst im Boden mineralisiert werden muss (Kompost, Stallmist).

Für die Verfügbarkeit des Stickstoffs im Anwendungsjahr gibt die DüV Mindestwerte vor, die auch in der Düngedarfsermittlung angesetzt werden müssen. Diese Werte entsprechen im Wesentlichen den Ammoniumgehalten der Düngemittel.

Schwer zu kalkulieren ist die Wirksamkeit des organisch gebundenen Stickstoffs. Sie kann jedes Jahr in Abhängigkeit von der Witterung und der Bewirtschaftung variieren. Oftmals wird versucht, eine befürchtete schlechte Wirkung mit einer zusätzlichen Mineraldüngergabe auszugleichen, was letztlich zu einer Überdüngung führt. Daher ist es besonders für Betriebe mit organischem Düngemittelinsatz wichtig, ein Düngefenster (s. o.) zur Beurteilung der Nährstoffwirkung anzulegen.

Nährstoffgehalte

Voraussetzung für eine bedarfsgerechte Planung der Wirtschaftsdüngerausbringung ist die Kenntnis der Nährstoffgehalte an Gesamtstickstoff, Ammonium und Phosphat. Dafür stehen Durchschnittswerte (www.lfl.bayern.de/basisdaten) zur Verfügung, von denen jedoch die betriebspezifischen Werte stark abweichen können. Daher ist eine Bestimmung der im Betrieb anfallenden organischen Dünger sinnvoll. Bei einer Laboruntersuchung kann die Probenahme erst nach einer ausreichenden Homogenisierung erfolgen. Eine Anleitung zur richtigen Probenahme ist unter www.lfl.bayern.de/iab/duengung/204247/index.php zu finden. Biogasgärreste entstehen aus den verschiedensten Ausgangssubstanzen, die während des Gärprozesses in Abhängigkeit von der Verweildauer und der Temperatur unterschiedlichen Abbauraten unterliegen. Die Nährstoffgehalte schwanken in Abhängigkeit von den Eingangsstoffen, dem Gärprozess und der Wasserzugabe stark: Daher muss bei Abgabe an andere Betriebe zu jedem Hauptabgabetermin eine aktuelle, repräsentative Gärrestanalyse (mindestens drei pro Jahr) vorliegen.

Alternativ zur Untersuchung ist auch eine Ermittlung der Nährstoffgehalte mit den Berechnungsprogrammen der LfL möglich, welche für Biogasgärreste (www.lfl.bayern.de/biogasrechner) sowie für tierische Wirtschaftsdünger (www.lfl.bayern.de/lagerkapazitaet) existieren.

Der Biogasrechner dient gleichzeitig der Plausibilisierung, ob die über Substrate zugeführten Nährstoffe die Anlage(n) über Gärreste wieder vollständig verlassen. Dies ist unabhängig von der gewählten Methodik zur Bestimmung der Nährstoffgehalte immer sicher zu stellen. Die betriebspezifischen Werte sind bei jeder Düngedarfsermittlung zu verwenden.

Bei der Ausbringung der flüssigen Wirtschaftsdünger kann der Nährstoffgehalt zudem mittels Nah-Infrarot-Sensoren NIRS festgestellt und die ausgebrachten Nährstoffmengen überwacht werden. Somit ist eine genauere Dosierung möglich. Das ist jedoch nur mit Sensoren möglich und anerkannt, die bei den fachrechtlich relevanten Nährstoffen (Gesamtstickstoff, Ammoniumstickstoff und Phosphor) für die jeweiligen Güllearten eine Zertifizierung der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) besitzen (Detailinformationen zur rechtlichen Anerkennung unter www.lfl.bayern.de/iab/duengung/313805/index.php). Der Einsatz dieser Geräte nimmt bei Maschinengemeinschaften und Maschinenringen zu und sollte zur zielgenauen Pflanzenernährung genutzt werden.

Wirksamkeit und Anrechenbarkeit der Nährstoffe

Für die Verfügbarkeit des Stickstoffs im Anwendungsjahr gibt die DüV Mindestwerte vor, die auch in der Düngedarfsermittlung angesetzt werden müssen (Tabelle 18). Ziel ist es, die Mindestanrechnung durch geeignete Maßnahmen zu erreichen oder sogar zu steigern.

Tabelle 18: Mindestwirksamkeit des Stickstoffs aus organischen Düngern nach DüV

Düngemittel	Mindestwirksamkeit im Jahr des Aufbringens in % des Gesamtstickstoffgehaltes	
Rindergülle	bei Aufbringung auf Ackerland: 60 auf Grünland: 50	ab 1. Februar 2025: alle Flächen: 60
Schweinegülle	bei Aufbringung auf Ackerland: 70 auf Grünland: 60	ab 1. Februar 2025: alle Flächen: 70
Rinder-, Schaf- und Ziegenfestmist	25	
Schweinefestmist	30	
Hühnertrockenkot	60	
Geflügel- und Kaninchenfestmist	30	
Pferdefestmist	25	
Rinderjauche	90	
Schweinejauche	90	
Biogasgärrest flüssig	bei Aufbringung auf Ackerland: 60 auf Grünland: 50	ab 1. Februar 2025: alle Flächen: 60
Biogasgärrest fest	30	
Klärschlamm flüssig (< 15 % TM)	30	
Klärschlamm fest (≥ 15 % TM)	25	
Pilzsubstrat/Champost	10	
Grünschnittkompost (BioAbfV)	3	
Sonstige Komposte (BioAbfV)	5	

Um die vorgegebenen Mindestwirksamkeiten zu erreichen, müssen an die Anwendung der organischen Dünger hohe Anforderungen gestellt werden. Nur unter optimalen Bedingungen, zu denen neben dem Standort eine optimale Witterung ebenso gehört wie ein optimaler Ausbringungszeitpunkt mit emissionsarmer Ausbringtechnik, können die Wirksamkeiten erreicht und damit Mineraldünger eingespart werden. Eine Beurteilung der Wirksamkeiten muss der Landwirt selbst anhand des Düngefensters und seiner langjährigen Erfahrung vornehmen und bei der Düngeplanung berücksichtigen. So kann z. B. die Wirksamkeit von Rindergülle und Biogasgärrest flüssig bei Mais und Getreide unter Beachtung aller erforderlicher Maßnahmen im Einzelfall auch größer 60 % sein.

Eine wichtige Maßnahme bei der organischen Düngung auf unbestelltem Ackerland ist die direkte Einarbeitung oder sofortige Einarbeitung nach der Ausbringung. In Versuchen von Lichti (2012) konnte das Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) des Ammonium-N im Biogasgärrest durch die Einarbeitung nach einer Stunde im Vergleich zur Einarbeitung nach 3 Stunden von 79 auf 91 % gesteigert werden (Abbildung 47) (Achtung: hier handelt es sich um die Wirksamkeit von Ammonium-N, nicht

um Gesamt-N wie in der vorherigen Tabelle). Um den gleichen Trockenmasseertrag wie in der Variante Einarbeitung nach einer Stunde zu erreichen, hätten zusätzlich 17 kg NH₄-N/ha ausgebracht werden müssen. Das würde, die Stickstoffform nicht berücksichtigend, ca. 0,6 dt/ha Kalkammonsalpeter entsprechen. Die Mineraldüngereinsparung durch die Effizienzsteigerung kommt so auch dem Grundwasserschutz zugute. Mit der Einarbeitung nach einer Stunde bzw. Ausbringung mit Güllegrubber oder Scheibentechnik sollte daher nicht bis 2025 gewartet werden, bis die entsprechende Regelung der DüV in Kraft tritt.

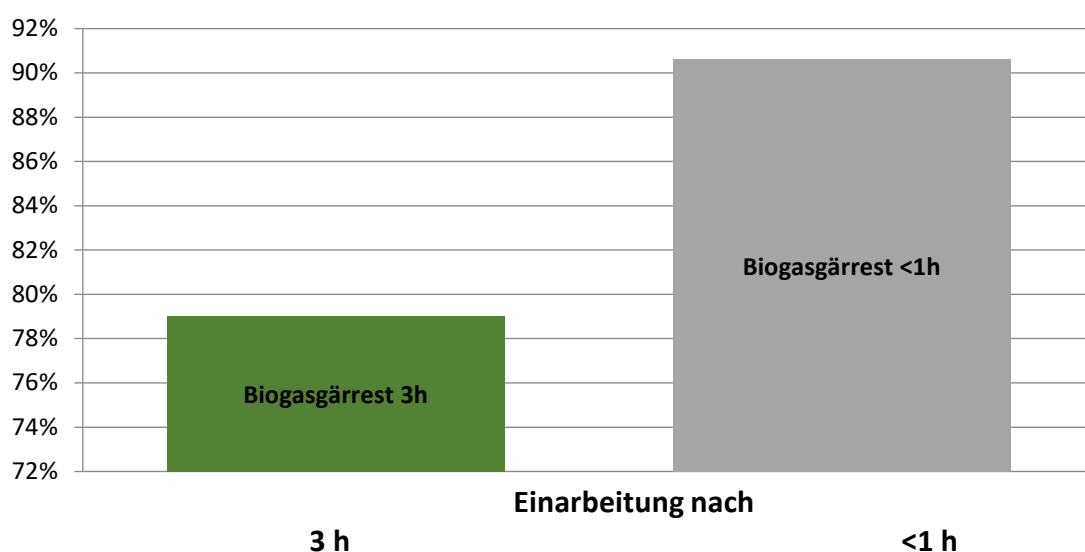


Abbildung 47: Mineraldüngeräquivalent in % des ausgebrachten Ammonium-N (Biogasgärrest); Puch 2010 - 2011, Bayreuth 2009 - 2011

Diese Maßnahmen sind zur Steigerung der N-Wirksamkeit einer organischen Düngung besonders wichtig:

- Ausbringmenge an den Pflanzenbedarf anpassen
- Rechtzeitige Ausbringung zum Zeitpunkt des Pflanzenbedarfs, z. B. zu Getreide ab Vegetationsbeginn, zu Mais ab dem 15. März, bei Zugabe eines Nitrifikationsinhibitors ab dem 1. März.
- Ausbringung bei möglichst günstiger Witterung (kühl, feucht, windstill)
- Ausbringung nur mit emissionsmindernder Ausbringtechnik, sofortige Einarbeitung (innerhalb einer Stunde nach Ausbringung)
- Keine Ausbringung bei zu erwartendem Starkregen
- Auf auswaschungsgefährdeten Böden sollten Einzelgaben auf 20 - 30 m³ beschränkt werden. In starken Hanglagen sollte wegen der erhöhten Abschwemmungsgefahr die Ausbringmenge max. 20 m³ betragen.
- Eine Verdünnung von Gülle (Wasserzusatz) oder Separierung fördern das schnelle Eindringen in den Boden und reduzieren dadurch die Ammoniakverluste sowie die Abschwemmungsgefahr.

4.8 Ausbringtechnik

Durch die richtige Wahl der Ausbringtechnik können sowohl die N-Effizienz gesteigert, die N-Verluste reduziert als auch Mineraldünger eingespart werden. Für die Ausbringung auf bestelltem Ackerland kommt der Einsatz folgender Geräte in Frage: Schleppschlauch, Schleppschuh, Schlitzgeräte.

Um die N-Wirkung organischer Dünger im Anwendungsjahr einzustufen und vergleichen zu können, ist das MDÄ ein guter Parameter. Die N-Verfügbarkeit organischer Düngemittel wird dabei in Beziehung zur N-Verfügbarkeit mineralischer Dünger gesetzt und ist somit ein Indiz für die Ausnutzung organischer Düngemittel im Vergleich zu Mineraldünger. Dieser Parameter eignet sich auch für die Beurteilung der Ausbringtechnik.

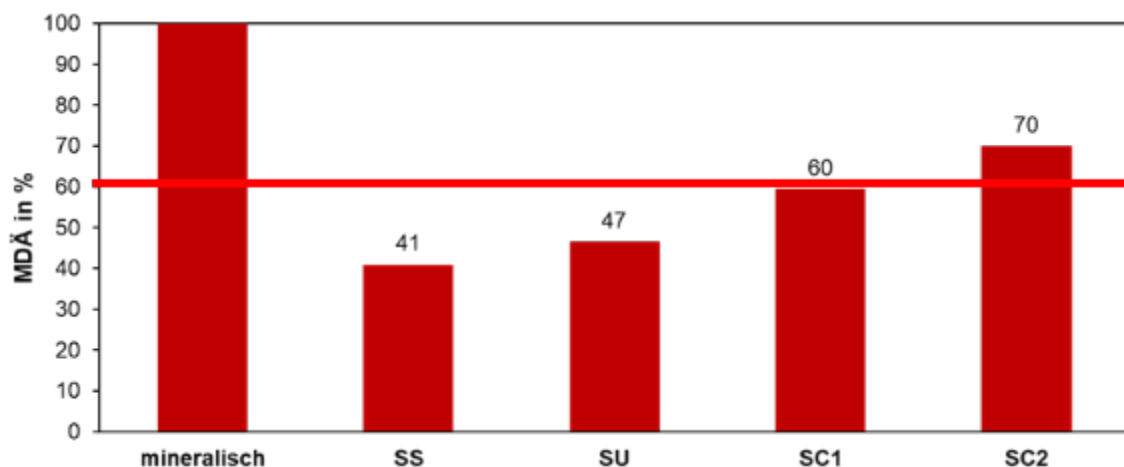


Abbildung 48: MDÄ bei Biogasgärrestausbringung von 170 kg N/ha zu Vegetationsbeginn, SS=Schleppschlauch, SU=Schleppschuh, SC 1=Scheibentechnik, SC 2=Scheibentechnik tief, rote Linie = Vorgabe nach DüV

Zahlreiche Versuche zeigen, dass nicht mit allen Ausbringtechniken die Vorgaben der DüV mit 60 – 70 % anrechenbarer Wirksamkeit erreicht werden können (Abbildung 48). Schleppschlauchverteiler reduzieren zwar die Ammoniakverluste bei der Ausbringung, können aber die vorgegebenen Werte nicht erreichen. Das gilt auch für den Schleppschuh, der eine exakte Verteilung auf den Boden und in den Pflanzenbestand ermöglicht, in den Winterweizenversuchen aber nur ein Mineraldüngeräquivalent von 47 % erreichte. Erst mit der Scheiben- oder Schlitztechnik, die die Bodenoberfläche anschneiden und die organischen Dünger in Schlitze ablegen, werden die Vorgaben der DüV mit entsprechenden Verlustminimierungsraten erreicht. Die gesteigerte N-Effizienz wirkt sich unmittelbar auf die Erträge aus (Abbildung 49). Bei dem Einsatz dieser Geräte können Mineraldünger ohne Ertragsverzicht eingespart, die betrieblichen Bilanzen verbessert und ein wertvoller Beitrag zum Grundwasserschutz erreicht werden.

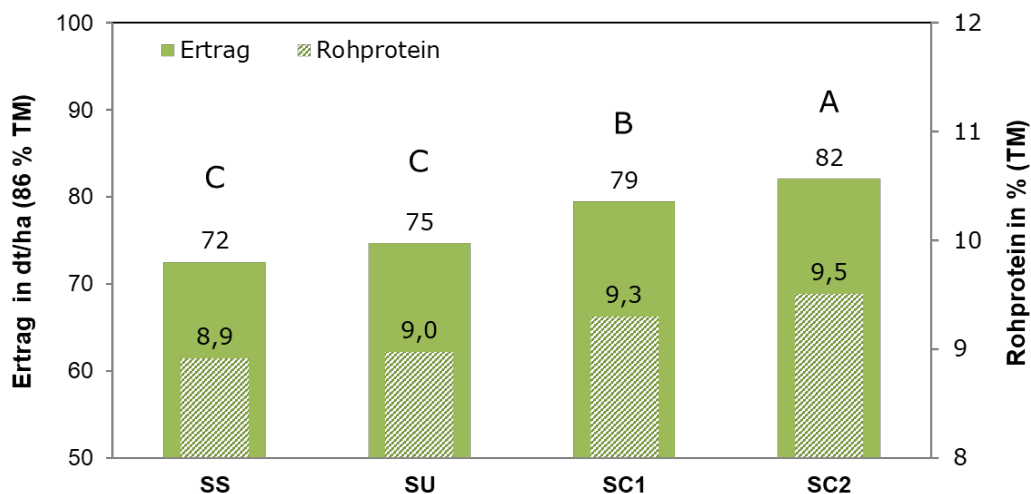


Abbildung 49: TM-Ertrag und Rohprotein bei Biogasgärrestdüngung von 170 kg N/ha zu Vegetationsbeginn sowie verschiedenen Applikationstechniken (SS = Schleppschlauch, SU = Schleppschuh, SC1 = flache Scheibeninjektion, SC2 = tiefe Scheibeninjektion). Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erträgen

Strip-Till-Verfahren

Beim Strip-Till-Verfahren wird ein Gülledepot gezielt unter und neben der Maisreihe, zum Teil auch mit Nitrifikationshemmern, platziert. Durch die tiefe Ablage werden Ammoniakverluste minimiert, die sich jedoch in Versuchen der LfL nicht immer in Mehrerträgen umsetzen ließen (<https://www.lfl.bayern.de/publikationen/schriftenreihe/234155/index.php>). Da weder höhere Erträge noch niedrigere $N_{\min}$ -Werte nach der Ernte oder ein besserer Saldo zu erzielen waren, konnte das Verfahren nicht überzeugen. Eine Zugabe von Piadin zum BGR bei Strip Tillage Varianten führte sogar zu signifikant geringeren Erträgen.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass der Erfolg des Verfahrens wohl stark von den Bodeneigenschaften und den klimatischen Verhältnissen (Vorteile auf trockenen Standorten) abhängt und auf leichteren Standorten eher geeignet ist. Ein Vorteil bei Mulchsaaten ist, dass die Mulchauflage zwischen den Saatreihen erhalten bleibt und zum Erosionsschutz beiträgt. Allerdings sollte auf den Einsatz dieser Technik auf stärker geneigten Flächen verzichtet werden, da es passieren kann, dass flüssige organische Dünger in dem Depotkanal zum Hangfuß laufen.

4.9 Lagerkapazität

Der grundwasserschonende Einsatz von Wirtschaftsdüngern setzt die Ausbringung dieser Düngemittel zu Zeitpunkten eines hohen Pflanzenbedarfs und zu optimalen Bedingungen voraus. Der Pflanzenbedarf und die Effizienz der organischen Dünger ist zu Vegetationsbeginn am größten, im Herbst dagegen sehr gering. Daher muss ausreichend Lagerkapazität zur Verfügung stehen, um Herbstausbringungen zu vermeiden und diese stattdessen ins Frühjahr zu verlagern. Zudem müssen die Sperrfristen und zusätzliche Wassereinleitungen über die Wintermonate berücksichtigt werden. Die in der DüV geforderten Mindestlagerkapazitäten (Tabelle 19) sind dafür nicht immer ausreichend.

Tabelle 19: Mindestlagerkapazität von Wirtschaftsdüngern nach DüV

Art	Monate
Flüssige Wirtschaftsdünger, einschließlich fester Phase bei Separation	6 (9*)
Festmist von Huf- und Klautentieren, Kompost	2
Geflügelmist, -trockenkot	5

* Flüssige Wirtschaftsdünger (Jauche und Gülle), Gärreste, wenn der Betrieb mehr als 3 GV/ha LF oder keine eigene Ausbringflächen hat

Ob der vorhandene Lagerraum den Vorgaben der DüV entspricht, kann für Gülle, Jauche und Stallmist z. B. mit dem EDV-Programm zur Berechnung des Lagerraumes (www.lfl.bayern.de/lagerkapazitaet) und für (www.lfl.bayern.de/biogasrechner) ermittelt werden.

Aus Sicht des Grundwasserschutzes ist es notwendig, aufgrund lokaler naturräumlicher und klimatischer Bedingungen und unter Berücksichtigung der betrieblichen Fruchtfolge, den Lagerraum über die gesetzlichen Vorschriften hinaus auszudehnen. Bei engen Fruchtfolgen mit hohen Anteilen an spät räumenden Ackerkulturen und wenig Feldfutterbau sind größere Kapazitäten notwendig. Betriebe mit intensivem Ackerbau sollten daher über eine Lagerkapazität von 8 bis 10 Monaten verfügen. Nur so ist gewährleistet, dass die Nährstoffe bedarfs- und zeitgerecht eingesetzt werden können und eine optimale Verwertung des Wirtschaftsdüngers stattfindet.

Bei der Bemessung des Lagerraums sind zusätzlich weitere Einleitungen in die Anlage zu berücksichtigen. Dazu zählen z. B. gesammeltes Niederschlagswasser von Hofflächen, Siloanlagen und Dachwasser sowie Gär- und Sickersaft von Fahrsiloanlagen oder Reinigungswasser (z. B. Stallreinigung, Melkstand und Milchkammer).

Weitere Informationen finden sich im Merkblatt der LfL und des Landesamtes für Umwelt: „Wirtschaftsdünger und Gewässerschutz - Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in der Landwirtschaft“

(https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/wirtschaftsduenger_und_gewaesserschutz_lfl-lfu-information.pdf).

4.10 Ökologischer Landbau

Autor: Dr. Peer Urbatzka

Der ökologische Landbau stellt für den Grundwasserschutz eine vorteilhafte Bewirtschaftungsform dar. Die Nährstoffbilanzen für Stickstoff sind überwiegend deutlich niedriger, da kein mineralischer Stickstoffdünger eingesetzt wird und die Tierhaltung über die Vorgaben der Anbauverbände flächengebunden ist. Durch den geringeren Stickstoffeinsatz sind die Flächenbilanzen im Ökolandbau in der Regel deutlich geringer als im konventionellen Landbau. In Abbildung 50 sind die Produktionsvorschriften der ökologischen Landwirtschaft mit Auswirkungen auf den Wasserschutz im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft dargestellt.

Zahlreiche Studien belegen, dass mit einer ökologischen Bewirtschaftung ein geringerer Eintrag von Nitrat in das Grundwasser zu rechnen ist. Es können jedoch auch beim ökologischen Landbau Risiken bestehen. So ist der Umbruchtermin der häufig verwendeten Klee-grasmischungen wenn möglich in das Frühjahr zu verlegen. Im Herbst ist ein frühzeitiger Umbruch ebenso wie eine mehrmalige Bodenbearbeitung aufgrund einer potenziellen hohen N-Mineralisierung zu unterlassen. Günstig im Herbst ist ein Umbruch kurz vor der Saat mit einer möglichst geringen Bodenbearbeitungsintensität. Eine intensive Bodenbearbeitung im Herbst ist generell zu vermeiden. Nach Körnerleguminosen, Raps oder Kartoffeln sollte immer ein Zwischenfruchtanbau mit Nichtleguminosen ggf. auch im Gemenge mit maximal 50 % Leguminosen erfolgen. Der Einsatz von organischen Düngern orientiert sich am Bedarf und nach den gleichen Regeln wie im konventionellen Anbau, auch was die Verwendung verlustarmer Techniken betrifft. Allerdings ist die Verfügbarkeit der organischen Düngemittel aufgrund der flächengebundenen Tierhaltung im ökologischen Landbau deutlich limitiert und damit auf einem vergleichbar geringen Niveau. Pflanzenschutzmittel werden im ökologischen Pflanzenbau in einem deutlich eingeschränkten Maß angewendet, da auf diese mit wenigen Ausnahmen verzichtet wird. Herbizide sind generell verboten, bei Insektiziden und Fungiziden sind nur Naturstoffe erlaubt. Dieser Einsatz lohnt sich üblicherweise aber nur bei intensiven Kulturen wie Kartoffeln. Daher ist die Gefahr einer Abschwemmung aufgrund des begrenzten Anwendungsbereiches deutlich reduziert.

Neben dem deutlich geringeren Einsatz der Nährstoffe N und P sowie von Pflanzenschutzmitteln liegt die Erosionsgefahr aufgrund der angebauten Kulturen (C-Faktor in der ABAG) bei gleichen Standortbedingungen im bayerischen Durchschnitt bei etwa einem Drittel. Daher trägt der ökologische Landbau zum Gewässerschutz bei.

Bereich		konventionelle Landwirtschaft	EU-ÖKO-VO	Naturland	Ecoland	Demeter	Biopark	Biokreis	Bioland	GÄA
Stickstoff & Phosphor	chem.-synth. leichtlösliche Mineraldünger	Einsatz erlaubt	kein Einsatz erlaubt							
	zugelassene Düngemittel	keine Einschränkung über gesetzlichen Rahmen hinaus	Positivliste: nur gelistete Düngemittel sind zulässig, kein Klärschlamm, nicht aus intensiv Tierhaltung							
			Beschränkung der zugel. Düngemittel	stärkere Einschränkung in der Auswahl (u.a. bzgl. Kompost, Nebenprodukte tierischen Ursprungs)						
	Düngermenge / Viehbesatz	Düngebedarfserm. nach DüV; Begrenzung des Einsatzes von Wirtschaftsdünger & Gärsubstraten auf max. 170 kg N/ha und Jahr zuzügl. anrechenb. Verluste	Düngebedarfsermittlung nach DüVO + Limitierung der Düngermenge im Betriebsdurchschnitt							
			Ausbringung von max. 170 kg N/ha und a über Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft	Ausbringung von max. 1,4 DE/ha (112 kg N/ha; 40,5 kg P/ha) im Betriebsdurchschnitt über alle Düngemittel						
	Zukauf externer Düngemittel	keine Einschränkung über gesetzlichen Rahmen hinaus	keine zusätzliche Beschränkung in der Zukaufsmenge	max. 0,5 DE/ha & a (max. 40 kg Jahreswirkung N)	max. 0,5 DE/ha & a (40 kg Gesamt-N)					
Pflanzenschutzmittel	chem.-synth. Pflanzenschutzmittel	Einsatz erlaubt	kein Einsatz erlaubt							
	zugelassene Pflanzenschutzmittel & Aufwandsmengen	kein Einsatz über gesetzlichen Rahmen hinaus	Positivliste: Anwendung ausgewählter Wirkstoffe; Restriktionen in der Aufwandsmenge und im Anwendungsbereich							
			bspw. 6 kg Cu/ha und Jahr	zusätzlich restriktivere Aufwandsmengen (bspw. max. 3 kg Cu/ha & a)						
Tierarzneimittel	Einsatz allopathischer Tierarzneimittel	metaphylaktischer Einsatz allopathischer Arzneimittel	Verbot des präventiven Einsatzes allopathischer Arzneimittel							
	homöopathische & phytotherapeutische Wirkstoffe	keine Einschränkungen über gesetzlichen Rahmen hinaus	Priorität liegt beim Einsatz homöopathischer und phytotherapeutischer Wirkstoffe							
	Anzahl der Behandlungen mit allopathischen Tierarzneimitteln	keine Einschränkungen über gesetzlichen Rahmen hinaus	Beschränkung auf 3 Behandlung/Jahr bzw. 1 Behandlung/Jahr bei Tieren mit Lebensdauer < 1 Jahr, bei Überschreiten dieser Behandlungsanzahl Aberkennung der ökologischen Zertifizierung des Tieres und ggf. Neumstellung							
	Wartezeiten nach Anwendung allopathischer Tierarzneimittel	keine Einschränkungen über gesetzlichen Rahmen hinaus	Verdoppelung der gesetzlichen Wartezeiten nach Anwendung allopathischer Arzneimittel (bei einer Wartezeit von bei 0 Tagen gilt dies für die öko. Tierhaltung; bei keinen Angaben zur Wartezeit gelten 48 Stunden)							
	Verbot bestimmter Wirkstoffe	keine Einschränkungen über gesetzlichen Rahmen hinaus	keine Einschränkungen über gesetzlichen Rahmen hinaus	Negativliste für Wirkstoffe und Arzneimittelgruppen						höhere Anzahl an Restriktionen
geringere Anzahl an Restriktionen										

Zunehmende Grünfärbung verdeutlicht stärkere Restriktionen/Auflagen, Orangefärbung hebt allgemein gültige Zusammenhänge hervor.

Abbildung 50: Produktionsvorschriften der ökologischen Landwirtschaft mit Auswirkungen auf den Wasserschutz im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft (Quelle: Thünen Report 65).

5 Handlungsfeld Fütterung

5.1 Rinderfütterung

Autor: Dr. Hubert Schuster, LfL

Bei der Fütterung steht der Kreislaufgedanke im Vordergrund: Möglichst viele Nährstoffe sollen in Nahrungsmittel umgesetzt werden. Daher gilt es Verluste zu verringern, die direkt bei Ernte, Konservierung und Fütterung im Stall entstehen, indirekt aber auch durch falsche Futterzusammensetzung. Um die individuellen Verlustquellen eines Betriebs zu identifizieren, wird eine Stoffstrombilanz durchgeführt. Hierbei werden alle Nährstoffströme, die in den Betrieb hinein- und hinausgehen (Mineral- und organischer Dünger, Stickstoffbindung durch Leguminosen, Tiere, tierische Erzeugnisse, Pflanz- und Saatgut sowie Futtermittel) berücksichtigt. Ergebnisse aus einem Projekt, an dem elf Milchviehbetriebe und fünf Rindermastbetriebe beteiligt waren, zeigen, dass der größte Teil der N- und P-Zufuhr bei rinderhaltenden Betrieben aus dem Futtermittelzukauf stammt, gefolgt von Mineraldünger. Der durchschnittliche Anteil der N-Zufuhr aus Futtermitteln lag in den Rindermastbetrieben bei 47 %, in den Milchviehbetrieben bei 52 % und in den Bio-Milchviehbetrieben bei 56 %. Der durchschnittliche Anteil aus Mineraldünger betrug in den Rindermastbetrieben 26 % und in den Milchviehbetrieben 38 %. Bei den Bio-Milchviehbetrieben lag der durchschnittliche Anteil der N-Zufuhr aus zugekauften Wirtschaftsdüngern bei 22 %. Bei Phosphor lag der mittlere Eintrag aus Futtermitteln noch höher als bei Stickstoff. Dieser betrug in den Rindermastbetrieben 47 %, in den Milchviehbetrieben 77 % und in den Bio-Milchviehbetrieben 76 %. Der durchschnittliche Anteil der P-Zufuhr aus Mineraldünger betrug in den Rindermastbetrieben 19 %, in den Milchviehbetrieben 18 % und in den Bio-Milchviehbetrieben 2 % durch Steinmehl. Der große Hebel zur Reduktion von eventuellen Überschüssen liegt also in der Bewirtschaftung der Futtermittel und in der Fütterung. Wo sind hier Hauptansatzpunkte zu suchen?

Rationserstellung auf der Basis von Futteruntersuchungen

Der Großteil an Nähr- und Mineralstoffen einer Ration – also auch Stickstoff und Phosphor - kommt aus den wirtschaftseigenen Futtermitteln Gras- und Maissilage, der Grundration. Um bestimmte Milch- oder Mastleistungen zu erreichen, muss diese Grundration natürlich ergänzt werden. Ergänzen kann man aber nur, wenn man Kenntnis darüber hat, was und in welcher Menge. Eine regelmäßige Untersuchung der Futterkomponenten ist daher die Basis einer sinnvollen Rationsberechnung und Grundlage einer wirtschaftlichen Rinderhaltung. Verschiedene Grundrationen haben unterschiedliche Gehalte an Nähr- und Mineralstoffen und verlangen daher auch nach einer differenzierten Ergänzung. Die Inhaltsstoffe der Kraftfutter sind relativ konstant, die große Unbekannte stellt das Grobfutter dar. Das LKV-Futterlabor Grub bietet hierfür sowohl die Analyse von Nähr- als auch von Mineralstoffen an. Der nächste Schritt ist eine Berechnung der Ration auf Basis dieser Futteruntersuchungen.

Berücksichtigung von unterschiedlichen Fütterungsphasen in der Rindermast

Eine optimale Rationszusammenstellung orientiert sich am tatsächlichen Bedarf der Tiere für eine bestimmte Milch- oder Fleischleistung. Unterschiedliche Entwicklungs- und Leistungsstadien haben einen unterschiedlichen Bedarf an Nährstoffen. Eine optimierte, auf Reduzierung von Überschüssen bedachte und wirtschaftliche Fütterung verlangt daher verschiedene Futterrationen für die verschiedenen Entwicklungs- und Leistungsgruppen (Phasenfütterung).

Wie kann unter bayerischen Verhältnissen damit umgegangen werden? In der Fresserfütterung ist es bereits üblich, eine wöchentliche Anpassung der Ration vorzunehmen. Dadurch ist es einfacher, die Mengen an Eiweiß (N und P!) und Mineralfutter (P) auf den tatsächlichen Bedarf abzustimmen und Überschüsse zu vermeiden. In der Bullenmast ist die Situation eine andere: die Fütterung einer

Totalen Mischration (TMR) hat sich inzwischen vielfach in der Praxis durchgesetzt und bewährt. Die Tierbestände sind aber in der Regel in einer Größenordnung, in welcher mit einer Mischung alle Tiere versorgt werden. Dadurch wird eine an das unterschiedliche Lebensalter angepasste Fütterung schwieriger. Dies wäre aber notwendig, da sich bei einem wachsenden Tier die Körperzusammensetzung und damit die Ansprüche an die Ration ändern. Der Fettanteil im Körper nimmt im Verhältnis zum Muskelanteil im Laufe des Wachstums stärker zu. Bei zunehmendem Körpergewicht steigt zwar der absolute Bedarf an Eiweiß, der notwendige Eiweißanteil je Kilogramm Trockenmasse sinkt aber. Zudem entwickelt sich der Pansen und das Tier nimmt immer größere Futtermengen im Verhältnis zum Zuwachs auf, wodurch die Eiweißkonzentration zusätzlich sinkt. Verwendet man die gesamte Mast hindurch eine Mischung, die auf den mittleren Bedarf ausgerichtet ist, so kommt es zu einer Unterversorgung im Bereich zwischen 200 und 350 kg, während der Bereich ab ca. 600 kg überversorgt ist. Stimmt man dagegen die Ration auf den ersten Mastabschnitt ab, kommt es zu Überschüssen in den folgenden Mastabschnitten. Der „Goldstandard“ ist daher die dreiphasige Mast (Tabelle 20), der Kompromiss ist eine Ration, die auf den mittleren Mastabschnitt ausgerichtet ist, wobei der erste Mastabschnitt noch eine Handzulage erhält.

Tabelle 20: Vergleich einer ein- und einer dreiphasigen Fütterung in der Bullenmast (150 Mastplätze, ab Fresser, ca. 1400 g durchschnittliche Tageszunahmen), FM= Frischmasse, RES/SES= Raps- und Sojaextraktionsschrote

	einphasig 220 - 750 kg	Futtermengen (dt FM/Jahr)	Phase 1 220 - 420 kg	Phase 2 420 - 620 kg	Phase 3 620 - 750 kg	Futtermengen (dt FM)
Maissilage	17,0	9.629	13,7	18,4	20,7	9.613
Stroh	0,2	113	0,17	0,22	0,24	115
Gerste/Körnermais	1,5	850	1,25	1,8	2,2	950
RES/SES	1,5	850	1,25	1,4	1,45	752
Mineralfutter (22 % Ca, 2 % P)	0,08	45	0,06	0,09	0,1	45
Futterkalk	0,04	23	0,05	0,03	0,01	23

Fütterung nach Leistungsphasen auch beim Milchvieh

Die Strategie der Einsparung von Nährstoffen durch Fütterungsphasen kann ebenso auf die Milchkühe angewandt werden. Auch hier wird durch Bildung von Fütterungsgruppen - Trockensteher, Vorbereiter, Laktierende - eine bessere Anpassung der Versorgung an den Bedarf erreicht. Im Vergleich der Leistungsphasen von Milchkühen besteht das größte Potenzial zur Reduzierung des Nährstoffanfalls bei den Laktierenden. Eine Grundration sollte möglichst ausgeglichen sein, d. h. im Pansen zur Verfügung stehendes Eiweiß (Stickstoff) und die für den Aufbau von bakteriellem Eiweiß notwendige Energie müssen sich die Waage halten. In der Rationsplanung gilt die Ruminale Stickstoffbilanz (RNB) als Marker:

- Frühtrockensteher: -10 - 0 g/Tag
- Vorbereiter und Frischlaktierer: -10 - 0 g/Tag
- Altmelker: 0 - 10 g/Tag

Dies setzt natürlich ebenfalls eine Futteruntersuchung voraus! Die Ergänzung sollte bei einer ausgeglichenen Grundration mit einem ausgeglichenen Leistungskraftfutter (16/3er oder 18/4er) erfolgen. Ist ein Eiweißüberschuss in der Grundration nicht zu vermeiden, so sollte am Transponder ein energiebetontes Leistungskraftfutter verwendet werden z. B. ein 16/4er. Die Zuteilung am Transponder muss der Milchleistung der Kuh und/oder ihrer Körperkondition angepasst werden. Wenn dies nicht passiert, ist eine Zuteilung nach Laktationstag sinnvoller. Bei einer TMR wäre die rationsbezogene Aufteilung der Herde in Hoch- und Niederleistende unbedingt notwendig. Auch bei kleineren Beständen wäre dies z. B. über Selektionstore möglich. Die Kontrolle, d. h. der Grad der Abstimmung zwischen Eiweiß und Energie in der Ration, erfolgt anhand des Milch-Harnstoffgehalts. Anzustreben ist ein Milchwarnstoffgehalt zwischen 15 und 20 mg/100 ml Milch. Höhere Gehalte bedeuten erhöhte N-Ausscheidungen, Leberbelastung und höhere Kosten. Die Milchwarnstoffgehalte sollten immer in einer Gruppe (z. B. je Laktationsdrittel) oder in der Herde betrachtet werden, nicht jedoch auf Einzeltierebene. Haben Erstlaktierende bei gleicher Fütterung einen Milchwarnstoffgehalt, der stark unter dem Herdenmittel liegt, so deutet dies auf eine geringere Futteraufnahme hin. In diesem Fall sind die Haltungsbedingungen wie z. B. das Tier-Fressplatz und Tier-Liegeplatz-Verhältnis zu überprüfen.

Im Laufe der Laktation sinkt die Milchleistung einer Kuh unter den Milcherzeugungswert der Mischration. Je länger diese Phase dauert und je höher aufgewertet die Trogration ist, desto mehr Überschüsse entstehen. Auch um diese Phase der Überversorgung zu reduzieren, müssen Kühe rechtzeitig und nach Körperkondition trockengestellt werden. Einen wesentlichen Einfluss hat die Zwischenkalbezeit: Umso eher es gelingt, die Kuh wieder trächtig zu bekommen, umso kürzer ist die Zeitspanne, in der die Milchleistung unter der Rationsleistung liegt, wodurch die Gefahr einer Verfettung reduziert wird.

Ration auf Pansengesundheit und Synchronität überprüfen

Für eine optimale Funktion der Pansenbakterien müssen bestimmte Orientierungswerte in der Gesamtration beachtet werden:

- Der Rohfettgehalt der Gesamtration darf nicht mehr als 4 - 4,5 % in der TM betragen.
- Um die notwendige Wiederkautätigkeit zu gewährleisten, muss ein Mindestmaß an Struktur von 28 % bzw. 25 % aNDFom i. d. TM (Neutrale Detergentien Faser) aus dem Grobfutter in der Gesamtration beim Milchvieh bzw. in der Rindermast vorhanden sein.
- Um einer Pansenazidose vorzubeugen, sind die pansenabbaubaren Kohlenhydrate auf maximal 25 bzw. 28 % in der Gesamtration beim Milchvieh bzw. Rindermast zu begrenzen.

Damit die Pansenbakterien optimal arbeiten und somit viel bakterielles Eiweiß bilden können, müssen Energie und Eiweiß möglichst gleichzeitig zur Verfügung stehen (= Pansen-synchronisation). Zum Beispiel passt zum relativ schnellen Eiweiß der Grassilage schnelle Energie aus Getreide, Ackerbohnen oder Erbsen.

Bei Phosphor macht es die Futterauswahl

Eine sinnvolle Phosphor-Ergänzung bedingt immer eine Untersuchung der Grobfutter auf Mineralstoffe, da hier große Schwankungen vorliegen können. Da in den Rationen mit Grassilage- oder Kleeerasanteilen meist ein Phosphor-Überschuss vorhanden ist, liegt der Schlüssel hier in der Auswahl eines phosphorfreen Mineralfutters und der entsprechenden Auswahl bei den Kraftfuttern.

Weide hilft Emissionen und Kosten sparen

Auch die ursprünglichste Form der Rinderfütterung hilft bei der Reduktion von Emissionen und Kosten: Die Weidehaltung sollte für eine bessere Verwertung des Grünlandes wo möglich wieder verstärkt betrieben werden. Eine planvolle Weidenutzung führt zu weniger gasförmigen N-Verlusten,

weil Harn und Kot sofort getrennt werden. Bei gezieltem und planvollem Vorgehen minimiert sie obendrein auch die Futterverluste. Da man sowieso mit dem Jungvieh beginnen muss, wäre dies ein erster Schritt, der zusätzlich auch noch Arbeit im Stall einspart.

Rationskontrolle - wie wird die Mischung erstellt, angeboten und gefressen?

Wichtig ist eine Ration, die nicht nur den Vorgaben aus der Berechnung entspricht, sondern auch täglich gleichmäßig gemischt ist und möglichst wenig von den Tieren selektiert werden kann. Darin liegt u. a. einer der großen Vorteile eines Futtermischwagens. Zu einem homogenen Mischergebnis gehören auch scharfe Messer im Mischwagen. Beim Mischen sollten die Mischreihenfolge (Stroh, Kraftfutter, Gras-, Maissilagen, Saftfutter wie Biertreber und Pressschnitzel) und die Mischzeiten eingehalten werden. Auch der TM-Gehalt der Ration spielt eine Rolle, da zu trockene Rationen leichter selektiert werden können. Als Optimum kann ein TM-Gehalt zwischen 38 und 42 % gelten. Zur Optimierung gehört letztendlich auch die Rationskontrolle, d. h., was und wieviel haben die Tiere gefressen? Zur Kontrolle gehören Kontrollpunkte am Tier (Füllung der Hungergrube, BCS bei der Milchkuh), Analyse der vorgelegten und gefressenen Ration (Schüttelbox), Kotanalyse und Milchhaltsstoffe (Milchmenge und im Verhältnis dazu Fett und Eiweiß; Milchwahnhstoff) bei der Milchkuh.

Reserven in der Futterwirtschaft mobilisieren

Eine an den Bedarf der Tiere angepasste Fütterung ist das eine, das andere ist die bessere Ausnutzung des wirtschaftseigenen Futters. Dies beginnt mit der Verbesserung der Eiweißgehalte und -qualität im Grobfutter durch Optimierung von Düngung und Grünlandpflege. Bei der Futtergewinnung selbst steht zuerst der optimale Schnitzeitpunkt im Fokus, gefolgt von der Verminderung der Futterverluste auf dem Feld durch schonendes Wenden und Schwaden. Das Silieren selbst sollte bei optimalem TM-Gehalt (30 - 40 % bei Gras-, 30 - 38 % bei Maissilage) unter Beachtung der bekannten Silierregeln (gute Verdichtung und Abdeckung) und mit Einsatz von Siliermitteln erfolgen. Eine Untersuchung der Gärparameter gibt Aufschluss über den Siliererfolg. Notwendig ist auch ein Controlling der Futterqualität. Neben der Untersuchung der Inhaltsstoffe wie Energie, Eiweiß und Mineralstoffe gehört bei Grassilage auch die Überprüfung der Eiweißqualität dazu. Dies geschieht mittels Bestimmung des Anteils von Ammonium-Stickstoff am Gesamt-Stickstoff, welcher kleiner 8 % sein sollte.

Eine gute Vorratsplanung dient nicht nur der ausreichenden Bereitstellung von Futtermitteln (mindestens 25 % Reserve einplanen!), sondern auch der aufeinander abgestimmten Kombination von Futtermitteln, die sich gegenseitig ergänzen (z. B. verschiedene Schnitte bei Grassilagen als Sandwischsilagen). Notwendigerweise ergibt sich daraus auch die Bereitstellung von ausreichender Futterlagerkapazität.

Die vielfältigen Angebote in der Beratung und von Weiterbildungsmaßnahmen sollten dazu genutzt werden.

Wieviel bringt das in einem praktischen Milchviehbetrieb?

In einem Praxisbetrieb (Tabelle 21) wurde zur Optimierung des Eiweißverbrauchs und der Eiweißverdauung unter Beibehaltung der Grobfuttermengen ein Teil des Getreides und des Kraftfutters gegen Rapskuchen und Körnermais ausgetauscht. Körnermais war in dieser Ration aufgrund der hohen Zuckeranteile in der Grassilage erforderlich, um den Gehalt an pansenabbaubaren Kohlenhydraten zu senken. Da die Grundration nun ausgeglichen war, wurde als Leistungskraftfutter eine Hofmischung mit 17 % Eiweiß und 7 MJ NEL verwendet. Dadurch, dass in der Trockensteher-Fütterung die Ration der Laktierenden mit vier kg Stroh gestreckt wird, enthielt die Trockensteherration bereits relativ wenig Eiweiß. Die Anpassung der Laktierendenration brachte eine weitere Verringerung. Durch die beschriebenen Maßnahmen sank der Verbrauch an Rohprotein inkl. Leistungskraftfutter von 719 kg auf 699 kg RP, was 58 kg Rapsextraktionsschrot pro Kuh und Jahr entspricht. Bei einem

Betrieb mit 50 Kühen sind das 29 dt Rapsextraktionsschrot/Jahr. Das spart Kosten! Nebenher ergibt sich bei 40 ha LF eine Stickstoff-Reduzierung von 5,3 kg N pro ha und Jahr. Die Einsparung an Eiweißkraftfutter hat einen Doppeleffekt: aus ihm stammen ca. 30 % des Phosphorgehalts der gesamten Ration. Daher sinken durch eine Reduzierung der Eiweißüberschüsse nicht nur die Stickstoff-, sondern auch die Phosphorüberschüsse.

Tabelle 21: Verbesserung der Grundration einer Milchviehherde mit ca. 8000 kg Milchleistung hinsichtlich Stickstoff und Phosphor, XP = Rohprotein, nXP = nutzbares Rohprotein, NEL = Nettoenergie Laktation, RNB = Ruminale Stickstoffbilanz

	IST Laktierende	IST Trockensteher	Anpassung Laktierende	Anpassung Trockensteher
Futtermittel	Rationszusammensetzung in kg FM			
Trogration Laktierende	-	21,00		21,00
Grassilage¹⁾	20,0	-	20,0	-
Maissilage²⁾	16,0	-	16,0	-
Heu / Stroh	0,5 / -	- / 4,0	0,5 / -	- / 4,0
50% Weizen, 50% Gerste	1,6		1,0	-
Körnermais	-	-	0,9	-
Kraftfutter 39/3³⁾	2,0		0,8	-
Rapskuchen, 8 % Rohfett	-	-	0,8	-
Mineralfutter	0,15 ⁴⁾	0,08 ⁵⁾	0,15 ⁴⁾	0,08 ⁵⁾
Viehsalz	0,02	-	0,02	-
Rationskennwerte				
kg Milch aus NEL	24,1		24,2	
kg Milch aus XP	26,5		24,6	
kg Milch aus nXP	24,6		24,0	
RNB	27	-5	3	-14

¹⁾ Grassilage 1. Schnitt: 40% TM, 160 g XP/kg TM, 6,6 MJ NEL/kg TM; 3,5 g P/kg TM

²⁾ Maissilage: 37 % TM, 330 g Stärke/kg TM, 6,9 MJ NEL/kg TM; 2,3 g P/kg TM

³⁾ Milchleistungsfutter 39/3: 390g XP/kg FM, 6,8 MJ NEL/kg FM

⁴⁾ Mineralfutter für Laktierende: 22% Ca, 2,0 bzw. 0 % P bei IST bzw. Anpassung

⁵⁾ Mineralfutter für Trockensteher: 12% Ca, 8,0 bzw. 0 % P bei IST bzw. Anpassung

Weitere betriebliche Möglichkeiten bei Milchkühen?

Bedeutende Möglichkeiten bestehen in der Reduzierung der Nachzucht auf das tatsächlich für die Remontierung benötigte Jungvieh. Auch eine Nachzucht von Kuhlinien mit hoher Lebensstagsleistung gehört hierzu. In Tabelle 22 wird dies anhand des Beispielbetriebs mit 50 Kühen dargestellt.

Tabelle 22: Reduzierung der Ausscheidungen an N und P bei einem Praxisbetrieb durch Reduzierung der Jungviehaufzucht (50 Kühe, 40 ha LF, 30 Monate Erstkalbealter, Acker-Stallhaltung)

Jungvieh	Reproduktions-Rate 40 %			Reproduktions-Rate 25 %		
	Anzahl Tiere	N kg/Jahr	P kg/Jahr	Anzahl Tiere	N kg/Jahr	P kg/Jahr
0 - 6 Monate ¹⁾	15	330	46	12	264	37
6 Mon. - 1 Jahr	10	370	48	7	259	34
1 - 2 Jahre	20	1120	157	14	784	110
Über 2 Jahre	10	640	92	7	448	64
Gesamt	55	2460	343	40	1821	245
kg/Jahr und ha LF		61,5	8,6		45,5	6,1

¹⁾ Männliche- und überzählige weibliche Kälber werden nach 6 Wochen verkauft

Eine weitere Reduzierung des N-/P-Aufwands kann durch eine Reduzierung des Erstkalbealters auf ca. 25 Monate erreicht werden. Nicht zuletzt bringt eine Erhöhung des Kuhkomforts - insbesondere das Angebot von einem Liege- und einem Fressplatz für jede Kuh- auch eine Erhöhung der Milchleistung, so dass eine Anpassung der Kuhzahl an den vorhandenen Stall zusätzlich ökonomische und arbeitswirtschaftliche Vorteile bringen kann.

Fazit

Der Schlüssel zur Eiweißeinsparung liegt in der Anpassung der Fütterung an die einzelnen Leistungsphasen der Tiere und einer Rationsberechnung auf der Basis von Futteruntersuchungen. Schlussendlich fehlt noch der Vergleich: Was haben die Tiere aus den zugeführten Nährstoffen gemacht? Welcher Verkauf an Fleisch und Milch steht dem Zukauf an Dünge- und Futtermitteln gegenüber? Wo klappt es auseinander und wo entstehen vermeidbare Überschüsse? Nichts anderes ist die Stoffstrombilanz.

5.2 Schweinefütterung

Autoren: Dr. Wolfgang Preißinger, Katja Krebelder, LfL

Bei der Fütterung von Schweinen spielen neben der bedarfsgerechten Versorgung der Zuchtsauen, Ferkel und Mastschweine auch Aspekte der Umwelt und des Tierwohles eine zentrale Rolle. Wer die Rohprotein- und Phosphorversorgung seiner Schweine am Bedarf orientiert, trägt effektiv zum Grund- und Oberflächengewässerschutz bei. Durch eine am Bedarf angepasste stickstoff- und phosphorreduzierte Fütterung lassen sich die Gehalte an Phosphor (P) und zum Teil auch an Stickstoff (N) in der Schweinegülle reduzieren. Ein Teil des Stickstoffs in der Gülle geht dabei als Ammoniak (NH_3) in die Luft über. Die gewählte Fütterungsstrategie hat durch die Höhe der Rohprotein- und P-Gehalte der eingesetzten Rationen einen maßgeblichen Einfluss auf den gesamtbetrieblichen Nährstoffkreislauf. In diesen geht neben der eigenen Futtererzeugung auch die Verwertung des anfallenden Wirtschaftsdünger ein. Futtermittel und organisches Beschäftigungsmaterial, die nicht selbst produziert werden und somit zugekauft werden müssen, gehen als Nährstoffinput in den Betrieb ein. Es ist deshalb wichtig, die Nährstoffflüsse und Nährstoffausscheidungen seines Betriebes zu kennen, um geeignete Maßnahmen treffen zu können. Diese werden in diesem Beitrag nur überschlägig angesprochen. Weiterführende Informationen können den Internetseiten des Institutes für Tierernährung und Futterwirtschaft (ITE) der LfL und den zahlreichen Broschüren/Merkblättern der DLG entnommen werden:

- LfL: <https://www.lfl.bayern.de/ite/schwein/index.php>
- DLG: <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/tierhaltung/futter-und-fuetterung/>

Die DLG hat Fütterungsverfahren mit unterschiedlichen Reduktionsniveaus für N und P veröffentlicht. Diese Leitlinien ermöglichen den Anwendern die Nährstoffausscheidung einzuschätzen und zu plausibilisieren sowie die N- und P-angepasste Fütterung umzusetzen:

- Arbeiten der DLG, Band 199 (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere
- DLG-Merkblatt 418 Leitfaden zur nachvollziehbaren Umsetzung stark N-/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen, 4. überarbeitete Auflage 2019

Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen

Zur Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen werden von der LfL u. a. nachfolgende Programme zur Verfügung gestellt:

- „Stallbilanz (Schweine/Geflügel) zur Plausibilisierung der Best Verfügbaren Technik (BVT)“
<https://www.lfl.bayern.de/ite/schwein/296596/index.php>
- „Rechner zur Optimierung des betrieblichen Nährstoffsaldos für Schweinemastbetriebe“
<https://www.lfl.bayern.de/ite/schwein/243801/index.php>

Das Excelprogramm „Stallbilanz (Schweine/Geflügel) in schweinehaltenden Betrieben“ bildet die Nährstoffeffizienz für N und P in der Schweine- und Geflügelproduktion ab. Betrachtungsebene ist dabei die Tierhaltung eines Betriebes. Die Stallbilanz saldiert die Nährstoffmengen, welche über das eigenerzeugte Futter, den Futterzukauf sowie den Tierzukauf in den Stall gelangen, mit den Nährstoffmengen, welche den Stall in Form von Zucht-, Mast- und Schlachttieren sowie sonstigen Abgängen verlassen. Die Differenz zwischen diesen Nährstoffmengen entspricht den Nährstoffausscheidungen der Tiere.

Die Saldierung erfolgt auf Basis der „Massenbilanzierung“. Demnach errechnen sich die Nährstoff-Ausscheidungen wie folglich dargestellt aus der Differenz zwischen der Nährstoff-Aufnahme über das Futter und dem Nährstoff-Ansatz durch den Zuwachs, bzw. das Produkt der Tiere.



Folgende Unterlagen sind notwendig, um die Fütterungsverfahren beurteilen zu können:

- Anzahl der Tierzahlen mit Lebendmasse (Mast: Einstall- und Ausstallgewicht, Schlachtauswertungen, Lieferscheine)
- Zootechnische Biologische Parameter (tägliche Zunahme, Anzahl verkaufter Ferkel, produzierte Eimasse, LKV-Auswertungen, Daten aus der Buchführung)
- Verbrauchte Futtermengen: Lieferscheine, Aufzeichnungen aus Fütterungscomputern
- Nährstoffgehalte im Futter: Angaben zum N- und P-Gehalt von Eigen- und Zukauffutter durch Nährstoffdeklarationen bzw. Laboranalysen
- Aufgrund der Novellierung der Tierschutz-Nutztierhaltungs-Verordnung ergeben sich zusätzlich N- und P-Einträge durch die seit 2021 vorgeschriebenen faserreichen organischen Beschäftigungsmaterialien.

In Tabelle 23 wird beispielhaft eine N- und P-Saldierung für ein Mastschwein angeführt.

Tabelle 23: Beispielsrechnung für die N- und P-Saldierung für ein Mastschwein (mittlere tägliche Zunahme 850 g/Tier) bei Universalfütterung, N-/P-reduzierter, stark und sehr stark N-/P-reduzierter Fütterung

	Fütterungsverfahren			
	Universal	N-/P-reduziert (2-phasig mit Vor-mast)	stark N-/P-reduziert (3-phasig mit Vor-mast)	sehr stark N-/P-reduziert (3-phasig mit Vor-mast)
Unterstellter Futtermittelverbrauch (Trockenfutter) kg	249	251	251	251
Mittlerer Gehalt an Rohprotein in der Ration g/kg	170	164	153	144
N in der Ration (Rohproteingehalt/6,25) g/kg	27,20	26,24	24,48	23,04
Phosphor in der Ration g/kg	5,0	4,5	4,3	4,1
Zuwachs während der Mast (28-118 kg) kg	90			
N Ansatz pro kg Zuwachs g	25,6			
P Ansatz pro kg Zuwachs g	5,1			
N-Saldierung				
Aufnahme (Futtermittelverbrauch kg x N Futter g/kg) g	6.773	6.586	6.144	5.783
Ansatz (90 kg x N Ansatz g/kg) g	2.304	2.304	2.304	2.304
Ausscheidung (Aufnahme – Ansatz) g	4.469	4.282	3.840	3.479
P-Saldierung				
Aufnahme (Futtermittelverbrauch kg x P Futter g/kg) g	1.245	1.130	1.079	1.029
Ansatz (90 kg x P Ansatz g/kg) g	459	459	459	459
Ausscheidung (Aufnahme – Ansatz) g	786	671	620	570
- 22 % N; - 27 % P →→→→→→→→→→→→				

Um eine nährstoffangepasste Fütterung erfolgreich umzusetzen, ist eine speziell darauf ausgerichtete Fütterungstechnik für die Multiphasenfütterung erforderlich, die eine exakte, an den Bedarf der Tiere in den einzelnen Wachstums- und Leistungsphasen angepasste Versorgung ermöglicht.

Der Rechner zur „Optimierung des betrieblichen Nährstoffsaldos für Schweinmastbetriebe“ wurde von der LfL zusammen mit der Firma BASF SE entwickelt. Es handelt sich dabei um einen kostenlosen Rechner zur Optimierung des betrieblichen Nährstoffsaldos. Betriebe, die Mastschweine halten,

können mit diesem Rechner die wirtschaftlichste Variante zur Einhaltung der Vorgaben der aktuellen DüV unter Berücksichtigung ihrer praktizierten Fütterungsstrategie abschätzen.

Einsatz kristalliner Aminosäuren

Das Schwein hat keinen Rohproteinbedarf, sondern einen Bedarf an Aminosäuren. Deshalb kann der Rohproteingehalt im Futter so weit abgesenkt werden, bis die erstlimitierende Aminosäure, beim Schwein ist es Lysin, die Proteinsynthese und damit das Wachstum begrenzt. Derzeit sind 13 Aminosäuren als Futterzusatzstoffe EU-weit zugelassen. In der Praxis werden aktuell Lysin, Methionin, Threonin, Tryptophan und Valin eingesetzt.

Aminosäuren können auf verschiedene Wege dem Futter zugesetzt werden, Alleinfuttermittel mit reduzierten Rohproteingehalten enthalten in der Regel Aminosäuren. Bei Selbstmischern werden sie üblicherweise über entsprechend ausgestattete Mineral- oder Ergänzungsfuttermittel zugesetzt. Aber auch das direkte Einmischen ins Futter ist unter Beachtung futtermittelrechtlicher Vorgaben möglich. Diese Vorgaben sind im Merkblatt für den Einsatz von Futtermittel-Zusatzstoffen im landwirtschaftlichen Betrieb Teil 3: Aminosäuren beschrieben. Dieses Merkblatt ist auf der Homepage des Sachgebiets 56 - Futtermittelüberwachung Bayern der Regierung von Oberbayern abrufbar:

https://www.regierung.oberbayern.bayern.de/mam/dokumente/bereich5/sg56/informationen_landwirte/aminosaeuren_082012.pdf).

Einsatz von Phytasen

Phytasen sind ebenfalls Futterzusatzstoffe, die in der EU zugelassen sind. Es sind Enzyme, die den in den Pflanzen als Phytinphosphor gebundenen Phosphor aufschließen können. Während Phytasen bei Wiederkäuern von den Mikroorganismen im Pansen produziert werden, können Schweine keine Phytase bilden.

Die Ergänzung mit Phytase erfolgt wie bei den Aminosäuren über entsprechend ausgestattete Mineral- oder Ergänzungsfutter. Eine direkte Zugabe zur Eigenmischung ist aktuell nicht möglich. Alleinfuttermittel für Schweine enthalten ebenfalls meist Phytase. Nach ausreichender Phytaseergänzung kann eine P-Verdaulichkeit von bis zu 65 % erreicht werden. Dadurch kann der Einsatz von mineralischem Phosphor reduziert werden, der Phosphatgehalt in der Gülle sinkt und die Nährstoffbilanz wird entlastet. Der Einsatz von freien Aminosäuren und von Phytase ist aktuell nur in konventionell wirtschaftenden Betrieben möglich.

In einer Versuchsreihe an der LfL (Preißinger et al., 2022) mit einem speziellen Mineralfutter, das mehr Phytase und niedrigere Gehalte an Kalzium und Phosphor enthielt, verringerten sich die Phosphorausscheidungen um ca. 25 % (Abbildung 51).

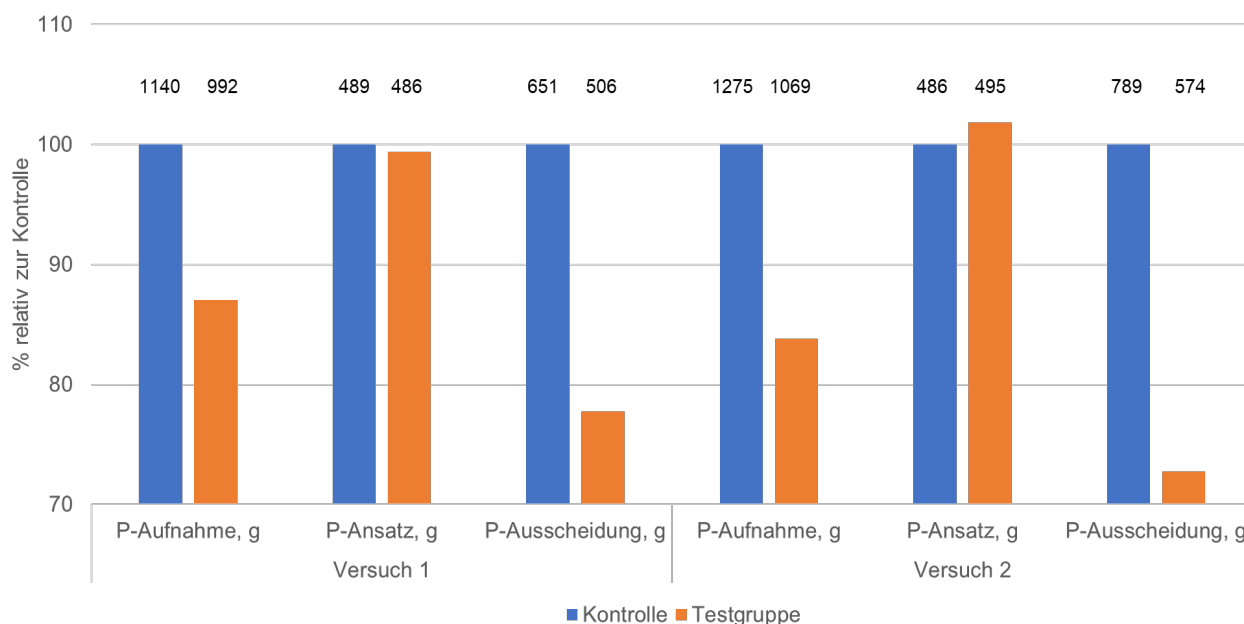


Abbildung 51: P-Aufnahme, P-Ansatz und P-Ausscheidung in zwei Versuchen dargestellt relativ zu den Kontrollgruppen (Preißinger et al., 2022)

Rationsgestaltung bei N- und P angepasster Fütterung

Die Bewertung des Rohproteins bzw. der Aminosäuren erfolgt in der Schweinefütterung auf Basis der praecaecal- bzw. dünndarmverdaulichen Aminosäuren und beim P auf Basis des verdaulichen Phosphors (vP). In Zifo2, einem Programm zur Berechnung und Optimierung von Futtermischungen für Nutztiere, das in Bayern u. a. auch vom LKV genutzt wird, sind für die einzelnen Schweinekatgorien (Sauen, Ferkel, Mastschweine) neben den Zielwerten für die Aminosäuren und den Phosphor auch die Zielwerte für die dünndarmverdaulichen Aminosäuren und den verdaulichen Phosphor angeführt (vgl. Abbildung 52).

Um Vorgaben unterschiedlich starker N-/P-reduzierter Fütterungsverfahren zu erreichen, gilt es den Rohproteingehalt der Mischung durch die Reduzierung von Eiweißfuttermitteln wie z. B. Soja- und Rapsextraktionsschrot zu senken. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass die Gehalte an dünndarmverdaulichen Aminosäuren nicht unter die angegebenen Zielwerte fallen. Mit der Verwendung von Mineralfuttermitteln mit besserer Ausstattung an Aminosäuren kann gegengesteuert werden.

Tabelle 24 zeigt ein Beispiel der praktischen Rationsgestaltung aus der Schweinemast: Durch den Einsatz von Mineralfutter mit hochwertiger Aminosäureausstattung kann der Rohproteingehalt in der Ration gesenkt werden.

Tabelle 24: Schweinemastrationen mit unterschiedlicher N-/P-Reduzierung, XP = Rohprotein, TF = Trockenfutter

	Nicht N-/P-reduziert	Stark N-/P-reduziert
Mittlerer Gehalt an Rohprotein, g/kg TF	167	149
Mittlerer Gehalt an Phosphor g/kg TF	4,8	4,3
Weizen kg	96	104
Gerste kg	113	106
Sojaöl kg	2	2
Sojaextraktionsschrot 44 % XP, kg	42	25
Monokalziumphosphat (rechnerisch), kg	1,27	0,68
Mineralfutter 12 % Lysin, kg	-	7
Mineralfutter 8 % Lysin, kg	7	-

Bei Phosphor gilt es, den Phytin-Phosphor der Ration durch Phytaseergänzung optimal zu nutzen. Dadurch kann die Zufuhr an mineralischen P über das Mineralfutter vermindert und der P-Gehalt im Futter abgesenkt werden. Mineralfutter mit Phytase und reduziertem P-Gehalt bzw. völlig ohne P stehen mittlerweile für die Praxis zur Verfügung. Auch beim Phosphor ist zu beachten, dass die Gehalte an verdaulichem P nicht unter die angegebenen Zielwerte fallen. Eine Besonderheit in Zifo2 ist, dass der verdauliche P zweimal ausgewiesen wird, nämlich als „Verdaul. Phosphor (nativ)“ und „Verdaul. Phosphor (Phytase)“, vgl. auch Abbildung 52. Wird Phytase eingesetzt, ist der ermittelte Gehaltswert mit dem Zielwert des „Verdaul. Phosphor (Phytase)“ abzugleichen.

Fachliste kurz				
...	Inhaltsstoff	Einheit	Zielwert TF88 je 1...	Gehalt TF88 je 1...
☒	Trockenmasse (TM)	g	880	
☒	Frischmasse (FM)	g	1000	
☒	Umsb. Energie Schwein (ME)	MJ	13.00	
☒	Rohprotein (XP)	g	153	
☒	Lysin	g	8.20	
☒	Methionin	g	2.54	
☒	Methionin + Cystin	g	4.51	
☒	Threonin	g	5.33	
☒	Tryptophan	g	1.47	
☒	Valin	g	5.33	
☒	dvd Lysin	g	5.80	
☒	dvd Methionin+Cystin	g	3.19	
☒	dvd Threonin	g	3.78	
☒	dvd Tryptophan	g	1.06	
☒	dvd Valin	g	3.78	
☒	Lysin/MJ ME Schwein	g	0.63	
☒	Rohfett (XL)	g	40	
☒	Stärke (XS)	g	430	
☒	Zucker (XZ)	g	35	
☒	Rohfaser (XF)	g	30	
☒	Rohasche (XA)	g	50	
☒	Kalzium (Ca)	g	4.8	
☒	Phosphor (P)	g	3.6	
☒	Verdau. Phosphor (nativ)	g	2.0	
☒	Verdau. Phosphor (Phytase)	g	2.0	
☒	Ca/P gesamt	g	1.3	
☒	Ca/vP nativ	g	2.4	
☒	Ca/vP Phytase	g	2.4	
☒	Natrium (Na)	g	0.8	

Abbildung 52: In Zifo2 hinterlegte Zielwerte (je kg Trockenfutter bei 88 % TM) für Mastschweinerationen ab 90 kg Lebendmasse und 850 g täglichen Zunahmen.

Wie bereits erwähnt, werden von der DLG verschiedene Fütterungsverfahren für eine N- und P-angepasste Fütterung angegeben. Nachfolgend werden die stark und die sehr stark N-/P-reduzierten Fütterungsverfahren betrachtet.

N- und P- angepasste Sauenfütterung

In Tabelle 25 sind die von der DLG angegebenen Rohprotein- und P-Gehalte für Sauenfutter bei unterschiedlich starker N-/P-reduzierter Fütterung zusammengestellt. Dabei belaufen sich die Unterschiede zwischen einer starken und einer sehr starken N-/P-reduzierten Fütterung beim Rohprotein sowohl im Tragefutter als auch im Säugefutter auf 5 g pro kg. Bei P sind es 0,2 g pro kg sowohl im Tragefutter als auch im Säugefutter.

Tabelle 25: Rohprotein- und Phosphorgehalte im Sauenfutter bei verschieden stark N-/P-reduzierten Fütterungsverfahren (DLG, 2019)

Status	Fütterungsverfahren	Rohprotein (g/kg)	Phosphor (g/kg)
Tragend	stark N-/P-reduziert	135	4,3
	sehr stark N-/P-reduziert	130	4,1
Säugend	stark N-/P-reduziert	165	5,0
	sehr stark N-/P-reduziert	160	4,8

N- und P- angepasste Fütterung in der Ferkelaufzucht

Generell wird bei einer stark oder sehr N-/P-reduzierten Fütterung eine zweiphasige Fütterung unterstellt (bis und ab 15 kg Lebendmasse). In Tabelle 26 sind die von der DLG angegebenen Rohprotein- und P-Gehalte für Ferkelaufzuchtfutter bei unterschiedlich starker N-/P-reduzierter Fütterung zusammengestellt. Dabei belaufen sich die Unterschiede zwischen einer starken und einer sehr starken N-/P-reduzierten Fütterung beim Rohprotein sowohl im Ferkelaufzuchtfutter I als auch im Ferkelaufzuchtfutter II auf 5 g pro kg. Bei P sind es in beiden Ferkelaufzuchtfutter 0,2 g.

Tabelle 26: Rohprotein- und Phosphorgehalte im Ferkelaufzuchtfutter bei verschieden stark N-/P-reduzierten Fütterungsverfahren (DLG, 2019)

Lebendmasseabschnitt	Fütterungsverfahren	Rohprotein (g/kg)	Phosphor (g/kg)
Ferkelaufzuchtfutter I bis 15 kg	stark N-/P-reduziert	180	5,3
	sehr stark N-/P-reduziert	175	5,1
Ferkelaufzuchtfutter II ab 15 kg	stark N-/P-reduziert	175	5,0
	sehr stark N-/P-reduziert	170	4,8

N- und P- angepasste Fütterung bei Mastschweinen

In der Schweinemast wird bei einer stark oder sehr N-/P-reduzierten Fütterung generell eine vierphasige Fütterung unterstellt.

In Tabelle 27 sind die von der DLG angegebenen Rohprotein- und P-Gehalte für Mastfutter bei unterschiedlich starker N-/P-reduzierter Fütterung zusammengestellt. Anders als beim Sauen- und Ferkelaufzuchtfutter sind die Unterschiede zwischen einer starken und einer sehr starken N-/P-reduzierten Fütterung im betreffenden Mastabschnitt nicht immer gleich hoch.

Tabelle 27: Rohprotein- und Phosphorgehalte im Mastfutter bei verschieden stark N-/P-reduzierten Fütterungsverfahren (DLG, 2019)

Lebendmasseabschnitt	Fütterungsverfahren	Rohprotein (g/kg)	Phosphor (g/kg)
Mastfutter 28 - 40 kg	stark N-/P-reduziert	175	4,7
	sehr stark N-/P-reduziert	165	4,4
Mastfutter >40 - 65 kg	stark N-/P-reduziert	165	4,5
	sehr stark N-/P-reduziert	155	4,2
Mastfutter >65 - 90 kg	stark N-/P-reduziert	155	4,2
	sehr stark N-/P-reduziert	140	4,0
Mastfutter >90 - 118 kg	stark N-/P-reduziert	140	4,2
	sehr stark N-/P-reduziert	135	4,0

Bei allen Tierkategorien stellen die angeführten Gehalte Orientierungswerte dar und können insbesondere beim Rohprotein je nach Anzahl und Einsatzumfang der zugesetzten Aminosäuren unter Umständen noch weiter abgesenkt werden. In einem Fütterungsversuch mit Mastschweinen stellten Krieg et al. (2022) fest, dass bereits ab 70 kg Lebendmasse der Rohproteingehalt bei adäquatem Einsatz von freien Aminosäuren auf ca. 115 g/kg Trockenfutter reduziert werden kann, ohne dass die Mast- und Schlachtleistung negativ beeinflusst wird. Dadurch ließ sich die N-Ausscheidung deutlich (-13 %) reduzieren.

Auch im Zuge des seit 2015 andauernden bayerischen Verbundprojektes „Operatives Rahmenziel zur praktischen Umsetzung der nährstoffangepassten Fütterung in der Schweinemast“ kann eindrücklich gezeigt werden, dass Mastschweine ohne Leistungseinbußen N-/P-reduziert gefüttert werden können. Durch intensive Beratung und den Einsatz neuer Mineralfutter- und Ergänzerkonzepte mit hochwertiger Aminosäuren- und Phytaseausstattung ist es den bayerischen Schweinemastbetrieben innerhalb der vergangenen 8 Jahre gelungen (2015 - 2023; n = ca. 24 Mio. Schweine), den mittleren Rohproteingehalt von 167 auf 149 g/kg Trockenfutter (TF, 88 % Trockenmasse) zu reduzieren (vgl. Abbildung 53). Dies entspricht einer relativen Absenkung von mehr als 10 %, wodurch die Ammoniakemissionen um rund 20 % reduziert werden konnten (-18 g Rohprotein/kg TF; pro -10 g 11 % NH₃-Minderung). Ein ähnlicher Verlauf zeigt sich beim P. Die Reduktion lag bei 0,5 g im „Mittleren Mastfutter“ und entspricht einer relativen Absenkung von ebenfalls ca. 10 %. Trotz dieser deutlichen N- /P-Reduktion blieben die Mast- und Schlachtleistungen unbeeinflusst – es konnte vielmehr ein klarer Trend zur Leistungssteigerung nachgewiesen werden. Durch den geringeren Einsatz von hauptsächlich Sojaextraktionsschrot (SES) und mineralischem Phosphor (vorrangig

Monocalciumphosphat (MCP)) generiert man nicht nur ökonomische Vorteile, sondern trägt auch zum Umwelt-, Gewässer- und Ressourcenschutz bei.

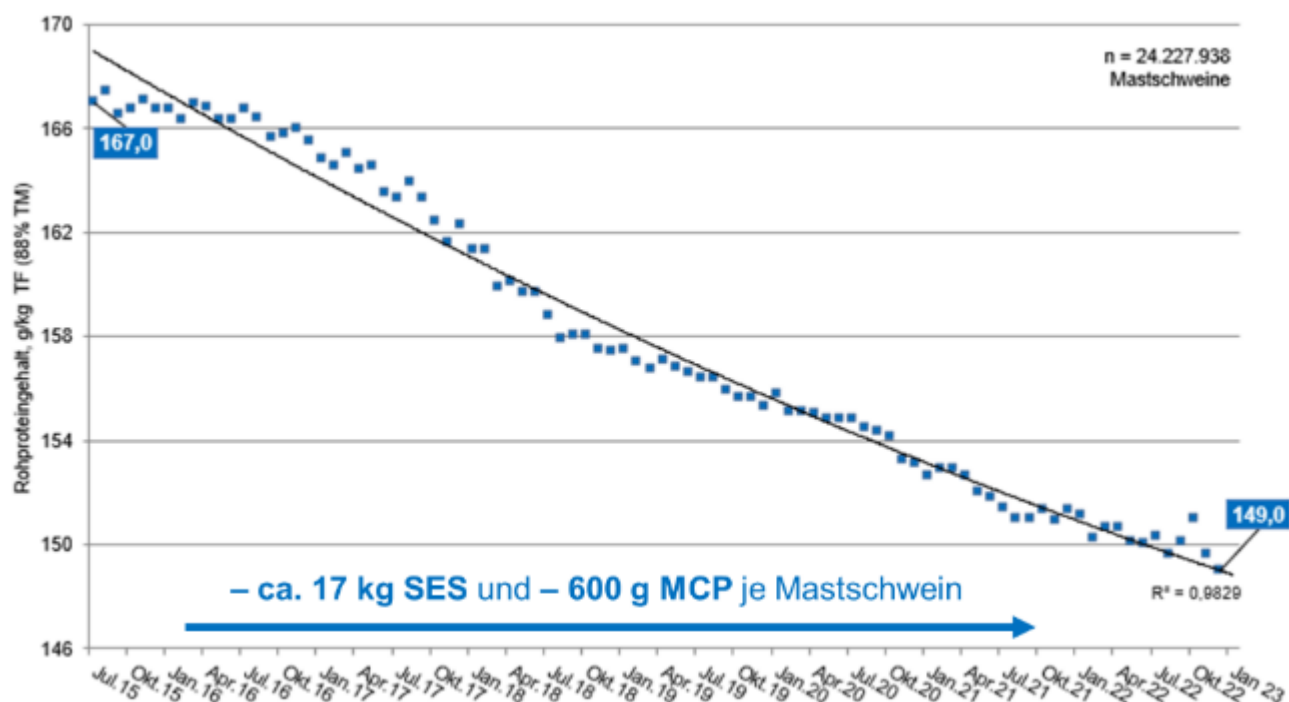


Abbildung 53: Rohproteingehalt des mittleren Mastfutters 2015 bis 2023 in Bayern, SES = Sojaextraktionsschrot, MCP = Monocalciumphosphat

Optimierung des Futtergetreides

Oft ist der Rohproteingehalt des zur Fütterung bestimmten Weizens zu hoch. Mit höheren Rohproteingehalten steigt auch der Aminosäuregehalt von Getreide. Gleichzeitig fällt jedoch die Konzentration der Aminosäuren im Rohprotein ab, vor allem bei Lysin (Tabelle 28, Abbildung 54). Nachteilig ist auch, dass hohe Rohproteingehalte zu höheren Nährstoffausscheidungen führen. Zudem sind für das Erreichen der hohen Proteingehalte größere N-Gaben notwendig, die das Grundwasser belasten können. Ziel muss es daher sein, Getreide mit rund 10 % Rohprotein zu erzeugen und die Düngung mit Stickstoff darauf auszurichten.

Tabelle 28: Lysingehalte und -konzentrationen von Weizen mit unterschiedlichen Rohproteingehalten

Rohproteingehalt g/kg	Lysingehalt g/kg	Lysinkonzentration g/100 g Rohprotein
135	3,3	2,5
100	2,9	2,9

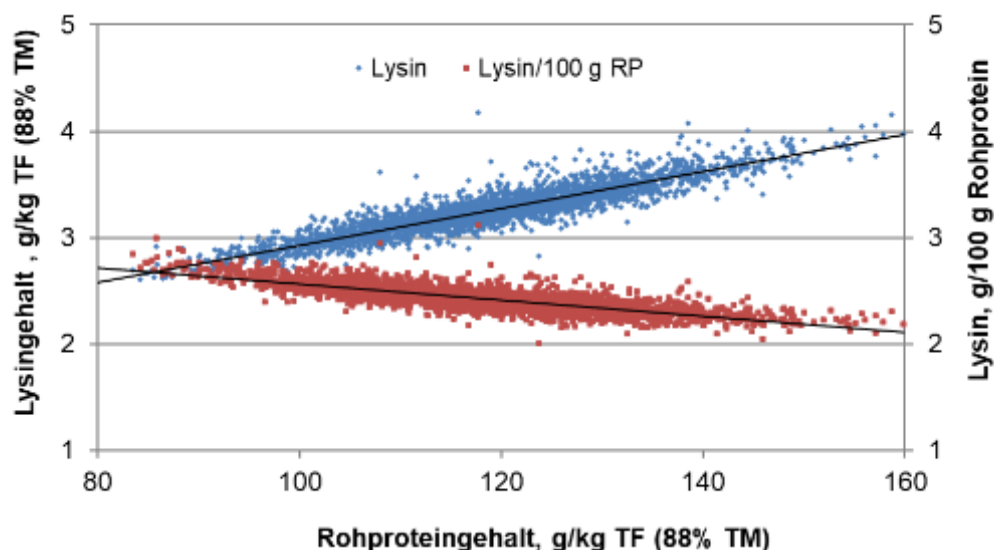


Abbildung 54: Lysingehalt und -konzentration von Winterweizen der Erntejahre 2013-2017 in Bayern

Futtermittelverluste minimieren

Futter, das direkt in den Güllekanal gelangt und vom Tier nicht genutzt bzw. verwertet wird, verursacht erhöhte N- und P-Einträge in die Gülle. Durch zusätzliche technische Vorrichtungen wie seitlich angebrachte Tränkeschalen und Gummimatten kann der Verlust von Futter erheblich reduziert werden (vgl. Abbildung 55).

In Versuchen konnten die Futtermittelverluste durch diese Maßnahmen von 3 % auf 0,7 % gesenkt werden, was bei 1000 Mastplätzen zu 420 kg weniger N- und 174 kg weniger P_2O_5 -Einträge in die Gülle führte (Schneider und Preißinger, 2022).



Abbildung 55: Futtertrog mit seitlicher Tränke und Gummimatte zur Reduzierung von Futtermittelverlusten (Bild: LfL)

Fazit und Zusammenfassung

- Nährstoffgehalte des eigen erzeugten Futters zur Optimierung der Ration analysieren lassen.
- Generell gilt es eine bedarfs- und wachstumsangepasste Fütterung auf Basis der aktuellen Versorgungsempfehlungen (GfE, DLG) konsequent und ohne Zuschläge umzusetzen.
- Optimierung der Ration und Anpassung an den Bedarf des Tieres in den einzelnen Wachstums- und Leistungsabschnitten
 - Erhöhung der Anzahl der Futterphasen: Verfeinerung der Phasenfütterung in der Sauenhaltung, Ferkelaufzucht und Schweinemast
 - Einsatz kristalliner Aminosäuren und optimierter Einsatz moderner Phytasen
 - Optimierung der Rationen auf dünn darmverdauliche Aminosäuren und verdaulichen Phosphor
 - Reduzierung des Rohproteingehaltes der Rationen durch Verringerung des Anteils an Eiweißfuttermitteln wie Soja- oder Rapsextraktionsschrot in den Rationen (minus 10 g Rohprotein im Futter entspricht ca. 10 - 11 % geringeren Ammoniakemissionen)
 - Optimierung bzw. Reduzierung P-Gehalte im Mineralfutter. Dabei das Verhältnis Ca zu verdaulichem P beachten (bei tragenden Sauen 2,4 - 2,6 zu 1, ansonsten 2,2 - 2,5 zu 1)!
 - Berechnung der Rationen mit speziellen Programmen, die bis zu den Nährstoffausscheidungen rechnen (z. B. LfL-Programm Zifo2),
- Optimierung der Produktion, d. h. höhere biologische Leistung
 - Sauenhaltung: mehr abgesetzte Ferkel pro Sau und Jahr (Verteilung der Futtermenge der Zuchtsau auf mehr abgesetzte Ferkel, Verringerung der Sauen- und Ferkelverluste, Verringerung der Futterverluste), rechtzeitiges Merzen nicht tragender Sauen
 - Ferkelaufzucht: Verbesserung der Futterverwertung bzw. des Futteraufwandes pro kg Zuwachs, höhere Tageszunahmen (weniger Futtertage = weniger Erhaltungsbedarf = weniger N- und P-Ausscheidungen), Verringerung der Futter- und Tierverluste
 - Schweinemast: Verbesserung der Futterverwertung bzw. des Futteraufwandes pro kg Zuwachs, höhere Tageszunahmen (weniger Futtertage = weniger Erhaltungsbedarf = weniger N- und P-Ausscheidungen), Verringerung der Futter- und Tierverluste, Optimierung der Mastendgewichte
- Inhaltsstoffe beachten: Deklarationen (N und P) einfordern
- Erzeugung von Futtergetreide mit ca. 10 % Rohprotein
- Fortlaufende Überprüfung der Fütterungstechnik (Hygiene, Mengen, Futterverluste)
- Systematisches Futtercontrolling inklusive regelmäßiger Futteruntersuchungen, Rationsberechnung und Rationsauswertung (berechnete, gefütterte, gefressene und umgesetzte Ration)
- Abgleich tatsächlich verbrauchte Futtermengen mit berechneter Menge mittels spezieller Programme, Benchmarking/Vergleich mit anderen Betrieben
- Berechnung und Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen

6 Handlungsfeld Bodenbewirtschaftung und Oberflächengewässer

Autoren: Dr. Matthias Wendland, Friedrich Nüßlein, Anita Högenauer, Florian Ebertseder, LfL.

Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, ist in natürlichen Gewässern sehr wenig Phosphor enthalten. Er ist der Mangelnährstoff für das Algenwachstum. Ein erhöhter Phosphoreintrag verursacht daher ein verstärktes Algenwachstum verbunden mit einer Verschlechterung des gesamten Stoffhaushaltes. Die Wasserrahmenrichtlinie fordert den guten Zustand aller Gewässer bis spätestens 2027. Daher sind alle Maßnahmen zu ergreifen, um eine Gewässerbelastung zu vermeiden. Das mit dem Klimawandel verbundene erhöhte Starkregenrisiko verschärft die Notwendigkeit für wirksame Maßnahmen.

6.1 Erosion

Mit dem Oberflächenabfluss werden wertvoller Boden mit Nährstoffen und auch Pflanzenschutzmittel abgetragen. Der durch Erosion verursachte partikelgebundene Phosphoreintrag ist neben der Abschwemmung von gelöstem Phosphor der bedeutendste Faktor bei der Nährstoffbelastung der Oberflächengewässer im landwirtschaftlichen Bereich. Der humusreiche und fruchtbare Oberboden der Ackerflächen verschwindet nach und nach. Zudem werden bei starken Erosionsereignissen nicht nur Gewässer, sondern auch Siedlungen und Straßen in Mitleidenschaft gezogen. Für landwirtschaftliche Betriebe mit erosionsgefährdeten Flächen ist es daher unbedingt notwendig, geeignete Schutzmaßnahmen zu treffen. Grundvoraussetzung dafür ist, die Erosionsgefährdung der Flächen zu kennen.

Die Erosionsgefährdung einer Fläche setzt sich aus folgenden Faktoren der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) zusammen:

R = Regen- und Oberflächenabflussfaktor (Regenerosivität),

K = Bodenerodierbarkeitsfaktor,

S = Hangneigungsfaktor und L = Hanglängenfaktor,

C = Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor,

P = Erosionsschutzfaktor (Querbewirtschaftung).

Erosion ist nicht immer vermeidbar, sie lässt sich jedoch durch die Kombination verschiedener Maßnahmen deutlich reduzieren. Nach dem heutigen Stand der Technik gilt eine Toleranzgrenze, die bei einem mittleren Bodenabtrag (t/ha/Jahr) von Bodenzahl/8 liegt. Bei einer Bodenzahl von 48 ergibt sich daraus z. B. eine Toleranzgrenze von 6 Tonnen pro Hektar und Jahr. Bodenabträge über dieser Grenze sind in jedem Fall zu hoch. Um die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie einzuhalten, sind Werte deutlich unter der aktuellen Toleranzgrenze erforderlich.

Es sind auch die Grenzen der ABAG zu beachten. Die Anwendung unterschätzt die Erosionsgefährdung dort, wo der gebündelte Abfluss eine Rinnen- oder Grabenerosion verursacht. Gleiches gilt für sehr lange, aber nur gering geneigte Hänge, die ein Zusammenfließen des Oberflächenabflusses erlauben.

Der R-Faktor (Erosivität der Niederschläge), der K-Faktor (Erodierbarkeit des Bodens) und der S-Faktor (Hangneigung) sind vom Landwirt nicht beeinflussbar. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Faktoren, die vom Landwirt beeinflusst werden können. Bodenerosion kann in der Regel nicht durch Einzelmaßnahmen, sondern nur durch ein Zusammenspiel mehrerer Maßnahmen auf der Fläche hinreichend reduziert werden.

Maßnahmen zum Schutz der Oberflächengewässer

Auswertungen von aktuellen Erosionsereignissen zeigen, dass bereits Niederschlagsintensitäten mit einer Jährlichkeit von 10 Jahren und darunter zu erheblichen Bodenabträgen geführt haben (https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/051476_erosionsschutz_massnahmen.pdf). Handlungsbedarf bei Umsetzung und Optimierung von Schutzmaßnahmen bestand dann, wenn insbesondere folgende Faktoren gegeben waren:

- zur Verschlammung neigende Böden (feinsandige bis schluffige Bodenarten)
- Anbau von Reihenkulturen ohne oder mit unzureichender Mulch-/Direktsaat
- kritische Kombination von Hangneigung und Hanglänge
- Abflussmulden innerhalb von Ackerflächen

Der erosionsauslösende Prozess ist die Oberflächenverschlammung. Dabei wird durch die hohe Energie der Regentropfen Feinmaterial von Bodenaggregaten gelöst und in die Luft geschleudert. Dieses Material verstopft im Anschluss die wasserführenden Poren, die Infiltrationskapazität des Bodens wird herabgesetzt. Gleichzeitig kommt es durch den Aufprall der Regentropfen zu einer Verdichtung an der Bodenoberfläche, was zusätzlich die Infiltrationskapazität senkt. Oberflächenabfluss entsteht, wenn das Wasserangebot an der Oberfläche größer ist als die Wasseraufnahmefähigkeit.

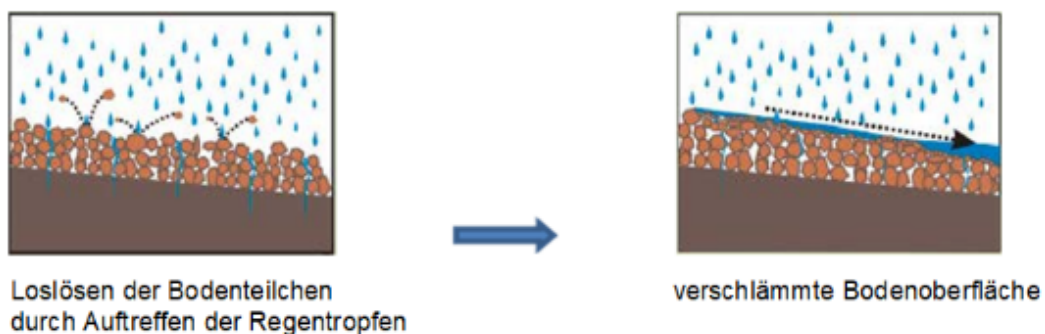


Abbildung 56: Verschlammung der Bodenoberfläche (BLE, 2022)

Frisch bearbeitete Böden mit feiner Aggregation verschlammern wegen der fehlenden Oberflächenrauigkeit sehr leicht. Regenwasser, das nicht in den Boden eindringen kann, sammelt sich oft in hangabwärts gerichteten Fahrspuren und es konzentriert sich dort der Oberflächenabfluss.

Zur Eindämmung der Erosion gibt es ein ganzes Bündel von Maßnahmen. Diese lassen sich untergliedern in Maßnahmen auf der Fläche (acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen), strukturelle Maßnahmen durch Untergliederung des Hanges und Reduzierung der Hanglänge sowie Maßnahmen zur Regelung des Wasserabflusses (Handlungsempfehlung der Arbeitsgruppe Erosionsschutz:

https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/handlungsempfehlungen_ag_erosionsschutz_abgabe_19-01-2017.pdf)

Im Sinne des Gewässerschutzes ist zusätzlich auf eine angepasste Phosphordüngung zu achten, um den gelösten und partikulär gebundenen Phosphor vor Eintrag in die Oberflächengewässer zu bewahren.

Eine Übersicht über die wichtigsten Maßnahmen gibt Tabelle 29.

Tabelle 29: Übersicht über die wichtigsten Maßnahmen zum Oberflächengewässerschutz vor Eintrag von Oberflächenabfluss, Erosionsmaterial und in beiden enthaltenen Agrochemikalien

• Ganzjährige Bodenbedeckung
• Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten
• Änderung der Fruchtfolge
• Konservierende Bodenbearbeitung, Mulch-/Direktsaat/Strip-Till
• Anhäufeln von Querdämmen, Begrünung von Fahrgassen
• Vermeiden von Bodenverdichtungen
• Erhalt/Aufbau von Humus, Erhöhung der Aggregatstabilität
• Verkürzen der Hanglänge – Schlagunterteilung, Kulturwechsel im Hang
• Bewirtschaftung quer zum Hang
• Angepasste Phosphordüngung, Kalkung
• Keine breitflächige P-Düngung auf drainierten Flächen
• Begrünen von Abflussmulden
• Anlage von Gewässerrandstreifen und Erosionsschutzstreifen, nicht nur bei permanenten Gewässern, sondern auch entlang von Gräben, die bei Oberflächenabfluss Wasser führen
• Anlage von Auffangbecken und Versickerungsmulden

6.2 GAP-Konditionalitäten-Verordnung

Im iBALIS ist für alle Flächen die natürliche Erosionsgefährdung der Faktoren RKS nach der GAP-Konditionalitäten-Verordnung des Bundes angegeben. Die Gefährdung wird in drei Klassen veranschaulicht, für die Gefährdungsklassen K-Wasser 1 und K-Wasser 2 gelten besondere Auflagen. Abschwemmung kann jedoch auch auf den „grünen“ Flächen stattfinden, so dass auch dort situationsbedingt Erosionsschutzmaßnahmen angebracht sind. Insbesondere greifen auch in den Bereichen, die wegen geringer Hangneigung nicht in K-Wasser 1 und K-Wasser 2 fallen, häufig schon die Hangauflagen von Pflanzenschutzmitteln. Diese sehen bereits bei einer Hangneigung von über 2 % (alternativ: 4 %) einen mit einer geschlossenen Pflanzendecke bewachsenen Randstreifen mit einer vorgeschriebenen Mindestbreite vor. Die maßgebliche Hangneigung erstreckt sich dabei bis zu einer Entfernung von 100 m hangaufwärts, gemessen ab der Böschungsoberkante des Gewässers.

Im Erosionsgefährdungskataster kann in digitaler Form die Einstufung der landwirtschaftlichen Flächen in Bayern nach dem Grad der Erosionsgefährdung durch Wasser bzw. Wind eingesehen werden. Die Wassererosionsgefährdungsklassen des Erosionsgefährdungskatasters haben sich 2023 geändert, da nach der GAP-Konditionalitäten-Verordnung des Bundes zusätzlich die Regenerosität bei der Berechnung der Erosionsgefährdung berücksichtigt werden muss, die früher in Bayern nicht berücksichtigt wurde. Eine Vorsorge gegen Erosion bei Starkregen ist in K-Wasser 1 und K-Wasser 2 verpflichtend. Schon aus Eigeninteresse sollten sie auch auf der übrigen Fläche ergriffen werden, selbst wenn dort die Erosion nicht so stark ist, dass Schutzmaßnahmen förderrechtlich vorgeschrieben sind. Insbesondere bei ausgedehnten Feldern mit großen Hanglängen können auch auf Flächen, die in K-Wasser 1 und K-Wasser 2 fallen, sehr hohe Bodenabträge auftreten und erfordern sogar bodenschutzrechtlich zwingend Schutzmaßnahmen. Der Unterschied kommt daher, dass die GAP-Konditionalitäten-Verordnung die Hanglänge nicht berücksichtigt. Dadurch ist das Förderrecht weniger streng als das Bodenschutzrecht.

Grundlegende Informationen sind im aktuellen Erosionsatlas Bayern basierend auf flächendeckend verfügbaren Geodaten enthalten. Alle Karten des Erosionsatlas mit wichtigen Informationen beispielsweise über Bodenabtrag, Hangneigung etc. können im Internet der LfL unter <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/029288/index.php> eingesehen und ausgedruckt werden. Landbewirtschafter, die sich für die Erosionsgefährdung ihrer Flächen interessieren, können Karten aus dem Erosionsatlas auch in der Erosionsschutz-App „ABAG interaktiv“ der LfL einsehen. Die „ABAG interaktiv“, die auf der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung beruht, kann Landwirte dabei unterstützen, das Erosionsrisiko ihrer Felder einzuschätzen und Entscheidungshilfen zur Wahl der geeigneten Maßnahmen geben. Die App steht als Web-Anwendung auf der Internetseite der LfL unter folgendem Link zur Verfügung: <https://abag.lfl.bayern.de>

Mit Hilfe der Webanwendung, die sowohl vom PC als auch von allen mobilen, internetfähigen Geräten aus bedient werden kann, lässt sich nicht nur der Bodenabtrag von Ackerflächen berechnen, sondern sie gibt auch Entscheidungshilfen für standortbezogene wirkungsvolle Maßnahmen.

Genaue Auskunft über die Berechnung der Erosionsgefährdung einer Fläche kann der neu überarbeiteten LfL-Information: Bodenerosion, Die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung - ABAG - Hilfsmittel und Handlungsempfehlung (Neuaufgabe 2023) entnommen werden, die kostenlos im Internet unter <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/bodenerosion-lfl-information.pdf> heruntergeladen werden kann.

6.3 Ganzjährige Bodenbedeckung

Eine ganzjährige Bodenbedeckung ist eine der effektivsten Maßnahmen zum Erosionsschutz. Ausreichender Bewuchs oder Pflanzen- und Strohreste als Mulch auf der Bodenoberfläche brechen die Aufschlagskraft der Regentropfen, reduzieren die Verschlammungsgefahr und erhöhen die Infiltration in den Unterboden (Abbildung 57).

Besonders wichtig ist die Bodenbedeckung während der Herbst- und Winterzeit sowie auf Flächen mit Hackfrüchten. Um eine ganzjährige Bodenbedeckung sicherstellen zu können, bedarf es einer Anpassung der Fruchtfolge. Diese muss durch einen Wechsel von Sommerungen und Winterungen den Anbau von Zwischenfrüchten ermöglichen. Letztere müssen vor Sommerungen wie Mais und Zuckerrüben gezielt nach Erosionsschutzaspekten ausgewählt und im Sommer möglichst zeitnah nach der Ernte der Vorfrucht angebaut werden. Bei Kulturen mit einer langen Vegetationszeit, die die Flächen sehr spät räumen (z.B. Körnermais), können Untersaaten noch für eine ausreichende Pflanzenentwicklung sorgen. Ziel ist eine Mindestbodenbedeckung von 30 %, die sowohl mit abfrierenden als auch mit überwinternden Zwischenfrüchten erreicht werden kann (siehe Abschnitt Zwischenfrüchte).

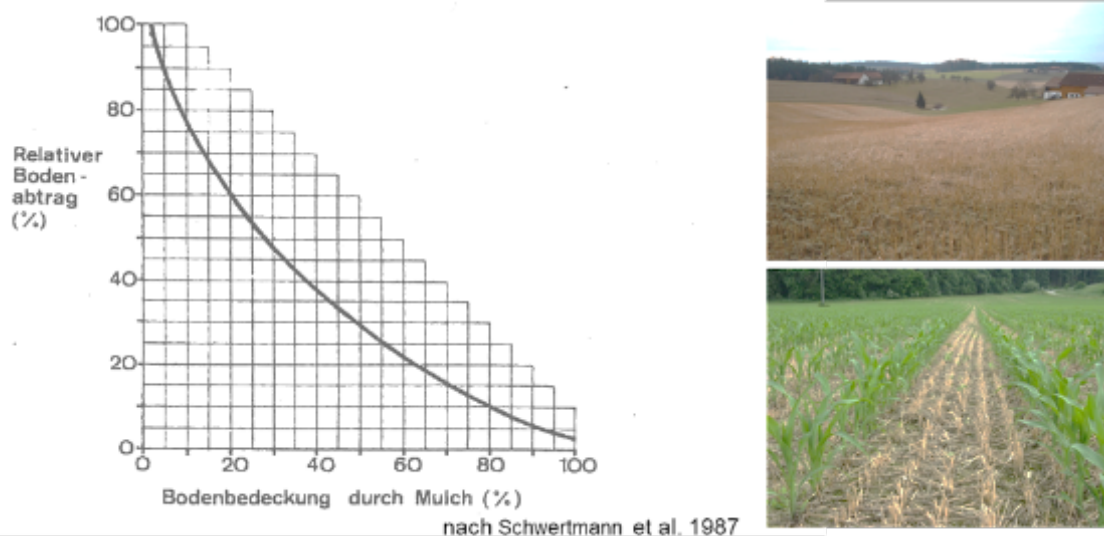


Abbildung 57: Wirkung von Mulch auf den Bodenabtrag (links, Grafik: Schwertmann et al., 1987) und Beispiele, wie durch Mulchdirektsaatverfahren eine hohe Mulchbedeckung erreicht werden kann (rechts, Bilder: F. Nüßlein)

Aus Erosionsschutzgründen ist ein Zwischenfruchtbestand notwendig, der nach dem Abfrieren genügend strohiges Material zur Bedeckung der Bodenoberfläche hinterlässt (Abbildung 57 rechts, Abbildung 58 unten). Gleichzeitig muss er Unkraut und Ausfallgetreide ausreichend unterdrücken. Aus phytosanitären Gründen muss bei der Wahl der Zwischenfruchtarten die Hauptfrucht in der Fruchtfolge berücksichtigt werden:

- Pflanzenarten, die als Hauptfrucht angebaut werden, sollten nicht als Zwischenfrüchte gewählt werden (z. B. Leguminosen)
- Keine Kreuzblütler wie z. B. Senf, Ölrettich in Rapsfruchtfolgen
- Nur eingeschränkter Anbau von Gräsern in engen Getreidefruchtfolgen
- Kein Senf oder Phacelia in Kartoffelfruchtfolgen
- Nematodenresistente Sorten (Senf / Ölrettich) beim Anbau von Zuckerrüben

Hinsichtlich der Artenwahl der Zwischenfrüchte stehen die Massenbildung in der Anfangsentwicklung und der Biomasseaufwuchs im Vordergrund. Bei Arten und Sorten mit solchen Eigenschaften ist eine bessere Unkrautunterdrückung zu erwarten. Daher sollte auch die Aussaat der Zwischenfrüchte möglichst bald nach dem Räumen der Vorfrucht erfolgen, um einen sicheren Aufgang und ausreichende Entwicklung der Zwischenfrucht zu gewährleisten. Bei Verwendung der Zwischenfrüchte in Mulchsaaten zur Erosionsminderung ist zusätzlich das Abfrierverhalten zu beurteilen.

Ziel sollte sein, dass nach der Saat der Hauptkultur im Frühjahr 30 % Bodenbedeckung vorhanden ist. Um das Mulchsaatenverfahren als Ersatz für präparatespezifische Auflagen zum Schutz vor Abschwemmung, bzw. durch die Anlage von Pufferstreifen, in Anspruch nehmen zu können, wird auch hier eine Mulchabdeckung von 30 % zum Zeitpunkt der PSM-Behandlung gefordert. Durch diesen Abdeckungsgrad kann eine Run-off-Reduktion im Bereich von 50 – 70 % erreicht werden. Eine Mulchauflage in diesem Umfang bietet einen guten Erosionsschutz. Insbesondere mit Mulchdirektsaat ist dieser Wert normalerweise sicher zu erreichen. Da bei Mulchdirektsaat die abgestorbenen Zwischenfrüchte immer noch im Boden verankert sind, bietet die Direktsaat auch die Gewähr, dass die Mulchdecke nicht auf dem Oberflächenabfluss aufschwimmt, abgetragen sowie unwirksam wird und an anderen Stellen zu Verstopfungen führt.

Abfrierende Zwischenfrüchte haben den Vorteil, dass sie mit dem ersten stärkeren Frost das Wachstum einstellen und im Frühjahr abgestorbenes Pflanzenmaterial fertig für die Saat zurücklassen. Sie sind daher besonders für früh gesäte Folgekulturen geeignet. Nicht abfrierende Zwischenfrüchte beginnen im Frühjahr wieder mit dem Wachstum und bilden mehr Mulchmaterial. Sie müssen jedoch mechanisch oder chemisch abgetötet werden, um einen Durchwuchs in der folgenden Hauptkultur und damit eine Konkurrenz zu vermeiden.

Der Verzicht auf Herbizide kann zu Schwierigkeiten beim Abtöten der Bestände führen und mechanische Verfahren notwendig machen, die eigentlich dem Erosionsschutz widersprechen.

Die folgende Übersicht zeigt die wichtigsten Zwischenfruchtarten in Abhängigkeit von der Saatzeit (https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/zwischenfruchtbau-erosionsgewaesserschutz_lfl-information.pdf). Im Handel gibt es auch zahlreiche Mischungen, die je nach Mischungspartner und der Fruchtfolge ausgewählt werden müssen.

Tabelle 30: Artenwahl und Trockenmassenerträge von Zwischenfrüchten in Abhängigkeit von der Saatzeit

Saatzeit	Früh (Mitte bis Ende Juli)	Mittel (Anfang bis Ende August)	Spät (Anfang September bis Anfang Oktober)
Arten bei Reinsaat	Ackerbohnen, Weidelgras	Senf, Ölrettich, Phacelia	Winterroggen
Trockenmasseertrag	30 - 35 dt/ha/Jahr	40 - 50 dt/ha/Jahr	20 dt/ha/Jahr

Eine weitere Möglichkeit zum effektiven Erosionsschutz nach der Ernte bieten Untersaaten. Besonders im ökologischen Landbau werden sie bei Getreide eingesetzt, um z. B. Klee gras zu etablieren und die Vegetationszeit optimal zu nutzen. Gerade nach Getreide bieten Untersaaten den großen Vorteil, dass auf eine Bodenbearbeitung im Sommer verzichtet werden kann, wenn die Gefahr erosionsauslösender Starkregen am größten ist. Aber auch bei Kulturen mit einer langen Vegetationszeit, nach denen Zwischenfrüchte kaum mehr angesät werden können, können Untersaaten helfen. Dies gilt besonders für den Mais (Abbildung 59).



*Abbildung 59: Untersaat in Mais, links nach der Maisernte, rechts 4 Monate später
(Bilder: F. Nüßlein)*

Der Anbau der Untersaat bei Mais muss so erfolgen, dass möglichst keine Konkurrenz zur Hauptfrucht entsteht. Werden sie jedoch gleichzeitig gesät, empfehlen sich Mischungen aus sehr langsam wachsenden Gräserarten. Dazu zählen Schwingelarten, wie zum Beispiel der Rohrschwingel oder Rotschwingel (Saatstärke ca. 10 - 15 kg/ha). Mischungen mit Weidelgräsern (Deutsches oder Welches Weidelgras) werden dagegen erst ab dem 6- bis 8-Blattstadium des Mais mit ca. 5 - 10 kg/ha gesät, da diese Gräser sehr wüchsig sind.

In der Praxis fehlen für die Etablierung der Untersaaten in Mais häufig die speziellen Saateinrichtungen an der Maisdrillmaschine und erfordern eine zusätzliche Überfahrt. Das Zeitfenster dafür ist eng, da der Zeitpunkt der Einsaat wesentlich bestimmt, ob sich die Untersaat im Maisbestand etablieren kann.

Als weitere Vorteile der Untersaat – vor allem bei Silomais – sind neben der besseren Befahrbarkeit bei der Ernte die Humuszufuhr und die Verbesserung der Bodenstruktur sowie der biologischen Bodenaktivität zu nennen.

6.5 Fruchtfolge

Durch eine Änderung der Fruchtfolge sollte eine möglichst lange Bodenbedeckung erreicht werden.

Besonders erosionsanfällig sind Flächen, die potenziell stark erosionsgefährdet und mit Hackfrüchten bestellt sind. Das gilt vor allem dann, wenn sie nicht in Mulch- oder Direktsaatverfahren bestellt sind. Geeignete Fruchtfolgen sollten so gestaltet sein, dass insbesondere vor den Hackfrüchten Zwischenfrüchte eingesät werden können und eine möglichst lange Bodenbedeckung erreicht wird.

Untersuchungen der LfL zum P-Austrag aus landwirtschaftlichen Flächen zeigten, dass der Phosphoreintrag in Oberflächengewässer stark vom Flächenanteil der Ackerflächen abhängt. Je größer der Grünlandanteil, desto geringer die Belastung (Diepolder, M.; Raschbacher, S., 2008). Daher sind für Betriebe mit futterbaulichen Verwertungsmöglichkeiten hohe Grünlandanteile/Klee gras anzustreben. Insbesondere gräserbetontes Klee gras hinterlässt nach dem Umbruch ein stabiles Krümelgefüge und Pflanzenreste für eine schützende Bodenbedeckung. Durch vielfältige Fruchtfolgen und Anpassung der Kulturarten an die standörtliche Gefährdung kann das Erosionspotential erheblich gesenkt werden. Vielfältige Fruchtfolgen tragen zudem langfristig zu einer nachhaltigen Bodenfruchtbarkeit bei.

6.6 Konservierende Bodenbearbeitung, Mulch-/Direktsaat/Strip-Till

Besonders erosionsmindernd wirken sich reduzierte Verfahren der Bodenbearbeitung wie flache, nicht wendende Methoden, Mulchsaat und Direktsaatverfahren aus (Abbildung 60). Im Gegensatz zu wendenden Verfahren (Pflug) bleibt der Bodenaufbau mit Grobporen und Regenwurmgängen, die eine besonders wichtige Funktion bei der Wasserinfiltration erfüllen, erhalten.



Abbildung 60: Mulchauflage aus Zwischenfrüchten (Bild: F. Nüßlein)

Zusätzlich schützen die Mulchauflagen aus Ernte- oder Zwischenfruchtresten die Böden vor Abschwemmungen bei Niederschlägen. Verschiedene Untersuchungen weisen nach, dass sich durch konservierende Bodenbearbeitung die Bodenabträge bis zu 50 % reduzieren lassen, der P-Austrag sogar bis zu 90 % (Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2022), siehe auch <https://www.ble-medianservice.de/3614-3-gute-fachliche-praxis-bodenbewirtschaftung-und-bodenschutz.html>).

Insbesondere für Reihenkulturen bieten sich konservierende Bestellverfahren streifenförmig in Mulchsaat als wirksame Erosionsschutzmaßnahme an. Bei diesem Verfahren wird auf eine flächige Saatbettbereitung verzichtet und auf einen schmalen Streifen beschränkt. Versuche zu diesem Verfahren, genannt Strip-Till, ergaben, dass das Niederschlagswasser sehr gut in den Boden eindringen und Abschwemmungen vermindern kann (Streifenbodenbearbeitung vor Zuckerrüben und Körnermais, LfL- Schriftenreihe ISSN 1611-4159, 2016, siehe auch https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/streifenbodenbearbeitung-zuckerrueben-mais_lfl-schriftenreihe.pdf).

Bei der Direktsaat wird vollständig auf eine Bodenbearbeitung verzichtet. Zur schnelleren Bodenerwärmung kann das Mulchmaterial mit Hilfe von Räumsternen bei Seite geschoben werden.

Konservierende Bodenbearbeitung, Mulchsaat- und Direktsaatverfahren schützen die Böden vor Verschlammung und Wassererosion durch einen höheren Bodenbedeckungsgrad mit organischen Rückständen. Die höheren Humusgehalte an der Oberfläche unterstützen die Ausbildung stabiler Bodenaggregate. Weiterhin schafft die organische Substanz günstige Lebensbedingungen für tiefgrabende Regenwürmer. Die von den Regenwürmern angelegten Makroporen weisen eine hohe Stabilität und Langlebigkeit auf. Sie sorgen für eine hohe Infiltrationsleistung durch die Porenkontinuität der Gänge.

6.7 Bodenstruktur, Bodenbearbeitung und Bodenverdichtungen

Einen wesentlichen Einfluss auf die Bodenerosion hat die Fähigkeit des Bodens, Niederschläge schnell aufzunehmen und abzuführen. Die Bodenart ist nicht beeinflussbar, die Bodenstruktur jedoch kann durch zahlreiche Maßnahmen verbessert werden. Eine gute Bodenstruktur ist durch ein stabiles Bodengefüge mit einer hohen Anzahl von Grob- und Mittelporen gekennzeichnet. Gefördert wird sie durch eine ausreichende Zufuhr von organischer Substanz (organische Dünger, Zwischenfrüchte, Erntereste), um den Humusgehalt zu erhalten bzw. zu steigern. Die Bodenorganismen, die für die Umsetzung sorgen, vermischen und lockern den Boden, ihre Stoffwechselprodukte verkleben Bodenteilchen. Die Stabilität des Gefüges wird durch eine ausreichende Kalkung nach den Vorgaben des „Gelben Heftes“ der LfL unterstützt.

Für die Infiltration sind eine raue Bodenoberfläche, ein hoher Anteil stark dränender Poren und ein Boden ohne Verdichtungen notwendig. Strukturschäden durch zu nasse Bearbeitung oder zu schwere Geräte sind zu vermeiden. Die Verwendung von druckmindernder Bereifung (Terra, Zwillingsbereifung, Breitreifen) oder einer Reifendruckregelanlage verringert die Gefahr von Bodenverdichtungen. Die Minderung von Bodendruck gilt insbesondere für die Fahrgassen. Bei extremer Gefährdung wirkt eine Fahrgassenbegrünung risikomindernd.

Der Einsatz eines Querdammhäufers ist eine spezielle Maßnahme im Kartoffelanbau. Damit werden zwischen den Kartoffeldämmen in gleichmäßigem Abstand Querdämme angelegt. Durch die Anhäufelung von Querdämmen entstehen zahlreiche kleine Mulden, die den Abfluss verhindern und zudem Niederschlagswasser zwischenspeichern und langsam in den Boden einsickern lassen. Die Querdammhäufelung ist auf Schlägen mit Gefällen unter 15 % möglich. Bei höherem Gefälle besteht die Gefahr des Wasserdurchbruchs mit möglicherweise größeren Schäden. Die Abstände der Querdämme und die Höhe der Dämme werden durch das Gefälle bestimmt.

6.8 Hanglänge – Schlagunterteilung

Die Hanglänge hat im Zusammenspiel mit der Hangneigung einen starken Einfluss auf die Erosion und den Oberflächenabfluss. Je länger ein Hang ist, desto mehr Wasser kann sich bei Niederschlägen abwärts bewegen und Bodenteilchen nach unten verlagern. Dies führt dazu, dass selbst bei geringen Hangneigungen hohe Bodenabträge auftreten, wenn die Hanglänge entsprechend groß ist.

Eine deutliche Verringerung der Hanglänge durch Teilung in zwei oder mehrere Bewirtschaftungsabschnitte mit wechselnder Bodenbedeckung (z. B. Wechsel von Mais und Wintergetreide) kann bereits zu einem Rückgang der Bodenabträge führen. Dabei sollten die sich abwechselnden Streifen gleich breit, aber maximal 45 m lang sein. Eine vielfältige Landnutzung bei großen Hanglängen kann extreme Abflüsse und damit Erosion vermeiden.



Abbildung 61: Effekte von Fruchtartenwechsel im Hang (Bild: W. Bauer, Agroluftbild, 2011)

Die Wirkung des Fruchtwechsels am Hang ist anhand von Luftbildaufnahmen nach Starkregenereignissen gut zu erkennen (Abbildung 61). Beim nicht untergliederten Maisschlag zeigen sich deutlich sichtbare Erosionsrinnen.

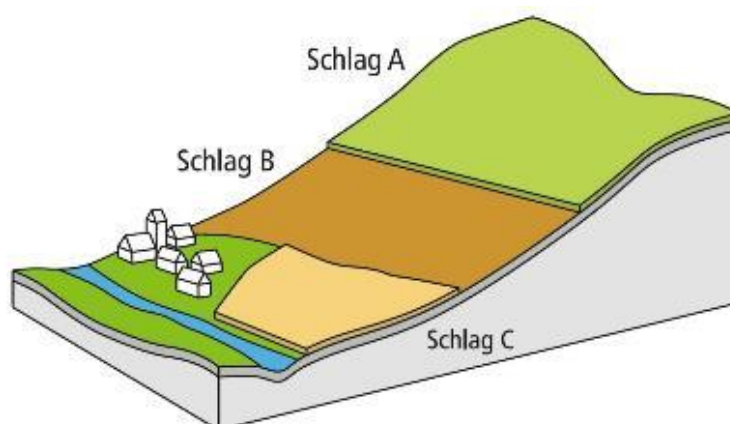


Abbildung 62: Schlagunterteilung an einem erosionsgefährdeten Hang (BLE, 2022)

Durch eine Verkürzung der erosionswirksamen Hanglänge wird die Fließstrecke unterbrochen und die Abschwemmungsgefahr verringert (Abbildung 62). Das Feld wird dabei quer zum Hang in Abschnitte geteilt, die mit unterschiedlichen Kulturen bestellt werden. Bei sehr langen Hängen empfiehlt es sich, unterhalb einer erosionsanfälligen Frucht (z. B. Mais) eine erosionsmindernde Frucht (Wintergetreide) anzubauen. Kulturen mit hohem Bodenbedeckungsgrad können den Abfluss und die Erosion merklich reduzieren.

6.9 Bearbeitung quer zum Hang

Um zu verhindern, dass Wasser schnell den Hang entlang abfließt, sollte die Bewirtschaftung quer zum Hang, am besten parallel zur Höhenlinie erfolgen. Dadurch werden die erosionsfördernden Fahrspuren in Hangrichtung vermieden. Die quer zum Hang verlaufenden Bearbeitungsspuren bilden bei geringem Seitengefälle ($< 10\%$ Gefälle) eine Barriere für das abfließende Wasser und können in der Praxis am besten in Kombination mit der Schlagunterteilung umgesetzt werden.

Um den Höhenlinien bei der Bewirtschaftung folgen zu können, ist eine spezielle Technik erforderlich. Die Äcker müssen sorgfältig auf ihre Eignung für die Konturbearbeitung geprüft werden (Voraussetzungen sind eher gleichmäßige, nicht zu steile Hänge), und auch die richtige Technik muss vorhanden sein (z. B. GPS-Lenksysteme, Geräte mit Hangausgleich, Feldspritzen mit Kurvenkompensation). Studien haben gezeigt, dass sich die Erosionsrate durch Konturbearbeitung gegenüber der Bewirtschaftung in Falllinie um 10 bis 50 Prozent reduzieren lässt.

Eine Querbearbeitung erfordert aber, dass aufs Vorgewende verzichtet wird, denn dort würde sich der Abfluss sammeln und in Gefällerichtung ablaufen. Diese Maßnahme kann nur in Kombination mit begrünten Abflussmulden funktionieren. Die begrünten Mulden (siehe 6.13) übernehmen dann die Funktion, den Oberflächenabfluss schadlos aus dem Hang herauszuleiten.

Bei größerem Gefälle besteht die Gefahr von Rinnenerosion durch den zunehmenden Wasserabfluss. Wenn die Bearbeitung schräg zu den Höhenlinien erfolgt, besteht zudem die Gefahr des seitlichen Abflusses; insbesondere, wenn Bewirtschaftungsspuren in Hangrichtung überlaufen.

Streifeneinsaat

Eine weitere Möglichkeit ist die Einsaat von begrünten Streifen. Diese reduzieren bei Niederschlägen die Abflussgeschwindigkeit des Wassers, erhöhen die Infiltration im Bereich des Streifens und halten gleichzeitig mitgeführte Bodenteilchen zurück. Die Erosionsschutzwirkung ist jedoch insgesamt deutlich geringer als beim flächendeckenden Bodenschutz durch Mulchsaat oder bei der Mulchdirektsaat.



Abbildung 63: Streifeneinsaat (Bild: F. Nüßlein)

Die Lage und Dimensionierung der Streifen werden von den Standortfaktoren, insbesondere von Boden und Relief bestimmt. Bei langen Hängen ist die Energie des abfließenden Wassers und des mitgeführten Bodens so groß, dass ein Streifen am Hangfuß nicht ausreicht, um einen ausreichenden Rückhalt zu gewährleisten. Daher sollte der erste Streifen bereits dort platziert werden, wo das Wasser beginnt sich in kleinsten Abflussrinnen zu konzentrieren. Bei sehr langen Hängen sind gegebenenfalls mehrere Grünstreifen in entsprechendem Abstand erforderlich. Die Ausrichtung am Hang muss sich an den Höhenlinien orientieren.

Um wirkungsvoll zur Reduzierung der Erosion beitragen zu können, müssen die Streifen mindestens 10 m breit und mit geeigneten Pflanzen bestellt sein. Gräser eignen sich dafür besonders, wenn die Aussaat bereits im Herbst erfolgt. Der Bestand sollte nicht höher als 15 cm sein. Daher eignen sich Futterweidelgräser weniger. Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht bietet es sich an, die Streifen als ein Vielfaches der Sämaschinenbreite zu wählen.

Im Zuge der Umsetzung der Erosionsschutzverordnung können auch Erosionsschutzstreifen auf Flächen der Erosionsgefährdungsklasse K-Wasser 1 und K-Wasser 2 angelegt werden. Die Anlage der Streifen erfolgt spätestens im Herbst des Vorjahres bzw. mehrjährig durch Einsaat von Getreide oder einer rasenbildenden Kultur mit einer Breite von mindestens neun Metern hangparallel, die spätestens bis zum Reihenschluss einen ausreichenden Erosionsschutz gewährleisten. Auf Flächen der Erosionsgefährdungsklasse K-Wasser 1 soll der Abstand zwischen zwei Erosionsschutzstreifen bzw. zwischen einem Erosionsschutzstreifen und der Feldstücksgrenze 100 m, auf Flächen der Erosionsgefährdungsklasse K-Wasser 2 75 m nicht überschreiten. Auf jeder Fläche ist jedoch unabhängig von ihrer Größe mindestens ein Erosionsschutzstreifen am Hangfuss anzulegen.

Erosionsschutzstreifen sind auch nach dem aktuellen KULAP-Programm (K50) förderfähig, wenn sie mindestens 10 m und maximal 30 m breit sind. Der Streifen muss über den gesamten Verpflichtungszeitraum beibehalten werden und unterliegt dem Gebot der Mindestbewirtschaftung. Auf dem Grünstreifen müssen Gras, Leguminosen, Kräuter oder Mischungen aus diesen vorhanden sein. Auf dem Streifen ist jegliche Düngung (ausgenommen Kalkung) sowie flächendeckender chemischer Pflanzenschutz untersagt. Eine KULAP-Kombination von K50 Erosionsstreifen mit den Vorgaben der Erosionsschutzverordnung ist möglich.

6.10 Phosphordüngung und Kalkung

Neben der Erosion ist der Oberflächenabfluss der wichtigste Eintragspfad für Phosphor in die Oberflächengewässer. Ein wichtiger Ansatzpunkt zur Verringerung der Einträge ist daher die Anpassung der Phosphordüngung an den tatsächlichen Pflanzenbedarf.

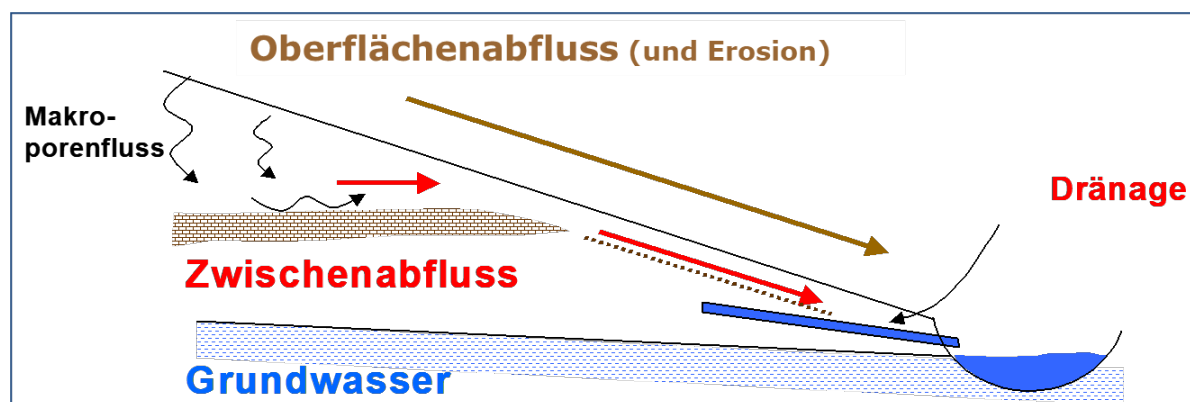


Abbildung 64: Wege des P-Transportes in Gewässer (Grafik: M. Diepolder; S. Raschbacher, 2008)

Phosphor wird im Vergleich zu anderen Pflanzennährstoffen im Boden stark gebunden, was zu einer Anreicherung von überschüssigem Phosphor im Oberboden führt. Bei einem möglichen Oberflächenabfluss kommt es jedoch zu einem Austausch mit dem gelösten Phosphor in der obersten Bodenschicht aufgrund des starken Gradienten für verfügbaren Phosphor. Dies trifft insbesondere für Grünlandflächen zu. Daher dominieren in der Grünlandbewirtschaftung die Oberflächenabschwemmung und der Zwischenabfluss als Eintragspfad in die Oberflächengewässer. Der überwiegende Teil des P-Eintrags über Oberflächenabfluss ist bodenbürtig und stammt häufig aus mit P hoch- oder überversorgten Böden. Maßnahmen zur Reduzierung der P-Verluste durch Abschwemmung wirken erst sehr langfristig (>10 Jahre), da die P-Anreicherung im Oberboden nur sehr langsam abgereichert werden kann (Prasuhn, V., 2011)

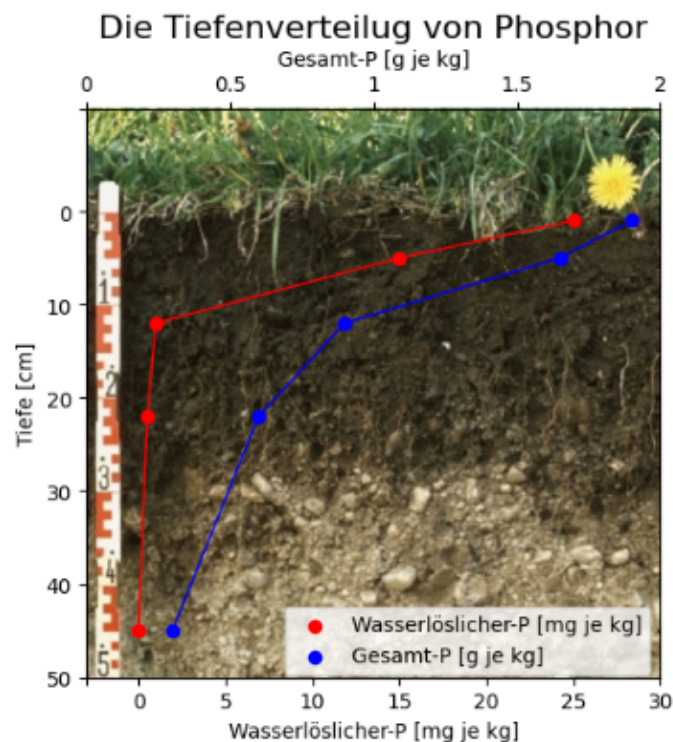


Abbildung 65: P-Gehalte auf hochversorgten Grünlandböden (V. Prasuhn, Vortrag Rosenheim 2016, verändert)

Bei der Bodenerosion werden vor allem die nährstoffhaltigen Schluff- und Tonfraktionen sowie Humus ausgetragen. Die Erosion durch Wasser und der damit verbundene Feststoffeintrag von Bodenpartikeln erfordert eine genaue Düngeplanung, um den Phosphatgehalt möglichst gering zu halten. Je höher der Phosphatgehalt in den abgeschwemmten Bodenpartikeln, desto höher ist die Belastung der sensiblen Oberflächengewässer.

Der Düngebedarf von Phosphat richtet sich nach dem Nährstoffgehalt des Bodens, der Nährstoffabfuhr über die Ernteprodukte und den Standortfaktoren. Als wesentlicher Faktor aus Sicht des Gewässerschutzes ist auch die Nährstoffbedürftigkeit der Kultur zu beachten. Daher sind schlagbezogene Düngeplanungen notwendig.

Ausgangspunkt der Planungen ist der Nährstoffgehalt des Bodens siehe Tabelle 31.

Tabelle 31: Gehaltsklassen für Phosphat (P_2O_5) bei Acker- und Grünlandböden (CAL-Methode)

Gehaltsklasse	Phosphatgehalte im Boden			
	Mineralböden und humose Böden ($\leq 15\%$ Humus) mg P_2O_5 /100 g Boden		Anmoor und Moor ($> 15\%$ Humus) mg P_2O_5 /100 ml Boden	
	Ackerland	Grünland	Ackerland	Grünland
A sehr niedrig	< 5	< 5	< 3	< 3
B niedrig	5 - 9	5 - 7	3 - 6	3 - 5
C anzustreben (optimal)	10 - 20	8 - 20	7 - 14	6 - 14
D hoch	21 - 30	21 - 30	15 - 21	15 - 21
E sehr hoch	> 30	> 30	> 21	> 21

Empfohlen wird, die Gehaltsstufe C anzustreben. Dazu ist eine Düngung in Höhe der Nährstoffabfuhr im Allgemeinen ausreichend. Die Gehaltsstufe C ist so bemessen, dass die Pflanzen auch bei ungünstigen Standortbedingungen noch ausreichend versorgt werden. Zahlreiche Versuche der LfL zeigen, dass bei Getreide im Gegensatz zu Hackfrüchten (Mais, Kartoffel, Zuckerrüben) auch bei niedrigeren Versorgungsstufen kaum Ertragsverluste zu verzeichnen sind (Abbildung 66).

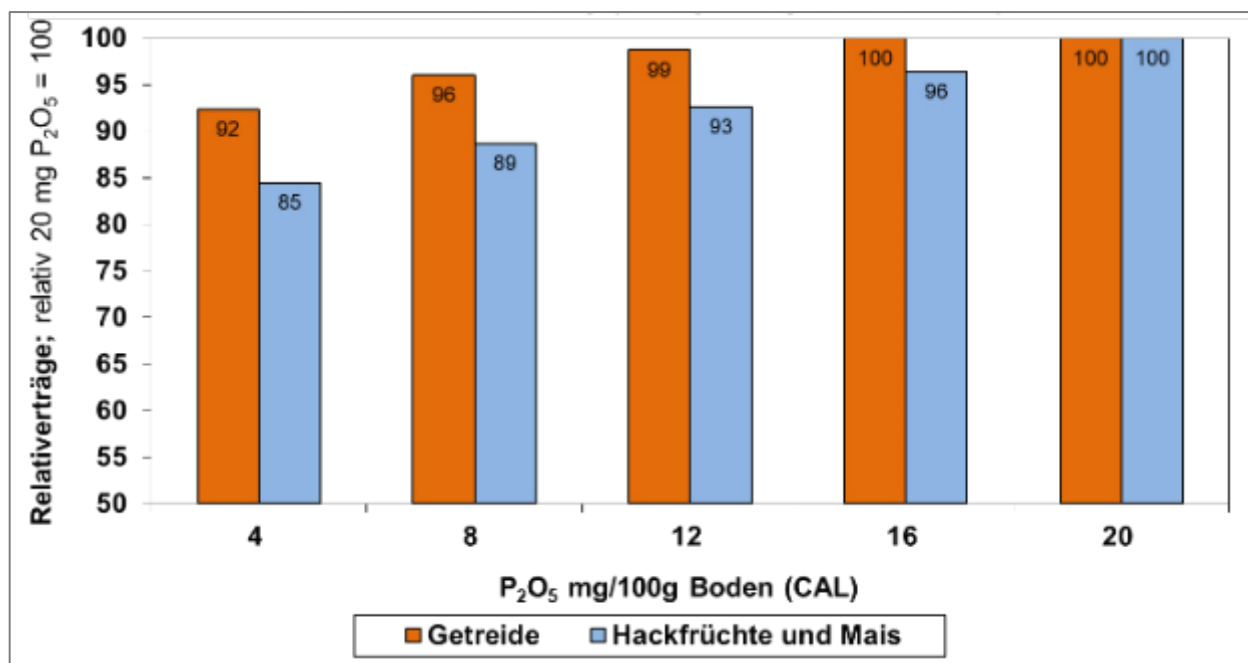


Abbildung 66: Relativerträge von Getreide im Vergleich zu Hackfrüchten und Mais in Abhängigkeit von der Phosphat-Versorgung des Bodens im Falle fehlender Phosphat-Düngung; schematische Darstellung, Datengrundlage: LfL-Versuche

Aufgrund der Versuchsergebnisse muss bei Getreide außer bei sehr ungünstigen klimatischen Standorten nicht die Versorgungsstufe C erreicht werden. Für Fruchtfolgen, die sowohl Getreide als auch Hackfrüchte enthalten, empfiehlt es sich, die Düngung zu den Kulturen mit den größeren Ertragseffekten auszubringen. Dazu wird in der Fruchtfolge bei Getreide nicht oder nur reduziert gedüngt, und

die bei Getreide eingesparte Nährstoffmenge zusätzlich auf die Hackfrüchte bzw. den Mais verteilt. Die P-Düngung erfolgt im Mittel über die Fruchtfolge nach P-Abfuhr. Das Risiko der Abwaschung bei Starkregenereignissen wird so deutlich reduziert. Weitere Hinweise zur Fruchtfolgedüngung mit Phosphat finden sich im Gelben Heft (2022) der LfL unter „Schaukeldüngung“.

In den Versuchen zeigte sich auch, dass ein Ausbringzeitpunkt im Frühjahr kulturabhängig leichte Vorteile und ein gewisses Einsparpotential haben kann. Das liegt daran, dass Phosphor in der Bodenmatrix schnell gebunden und nur langsam in die gelöste pflanzenverfügbare Form umgewandelt wird. Bei einer Frühjahrsdüngung unmittelbar zum Bedarf der Pflanzen haben die Bindungsprozesse noch nicht stattgefunden. Die Bindung von Phosphat und seine Pflanzenverfügbarkeit wird stark vom pH-Wert beeinflusst. Bei pH-Werten zwischen 6 und 7 ist die Mobilität und damit die Verfügbarkeit von Phosphat am höchsten.

Fazit für Oberflächengewässerschutz:

- Gehaltsklasse B bei Fruchtfolgen ohne Zuckerrübe ausreichend
- langfristiger Abbau des P-Gehalts hoch versorgter Flächen
- „Schaukeldüngung“ zu Hackfrüchten
- Düngung im Frühjahr
- Regelmäßige Kalkung, pH-Werte zwischen 6 und 7 anstreben.

6.11 Ökologischer Landbau

Autor: Dr. Klaus Wiesinger

Die Bedeutung des ökologischen Landbaus für die Qualität und den Schutz der Oberflächengewässer beruht im Wesentlichen auf den im ökologischen Landbau angelegten Restriktionen. Gesetzliche Grundlage bildet dafür die EU-Öko-Verordnung, Mitgliedsbetriebe der Öko-Anbauverbände haben zudem die in mehreren Bereichen noch über die EU-Öko-Verordnung hinausgehenden Verbands-Richtlinien zu beachten. Relevant für die Qualität bzw. den Schutz von Bächen, Flüssen und Seen sind hier v.a.

- die sehr eng gefassten Grenzen für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln
- die Limitierungen beim Antibiotikaeinsatz
- die Begrenzung der P-Düngung auf schwerlösliche Phosphate, die Begrenzung der organischen N-Düngung
- die weitgehend an die Fläche gebundene Tierhaltung (und damit de facto Obergrenzen für die Intensität der Tierhaltung)
- die bessere Erosionsschutzleistung aufgrund des verbreiteten Anbaus von rasenbildendem Feldfutter (Klee- und Luzerne-Gras Gemenge), eines häufigen Zwischenfruchtanbaus und der Förderung des Bodenlebens sowie der Verbesserung der Humusgehalte.

Der vollständige Verzicht auf Herbizide, die Limitierung von Insektiziden und Fungiziden auf Naturstoffe und auf den Einsatz in Intensivkulturen wie Obst, Gemüse, Wein oder Kartoffeln führt zu einem sehr geringen Austragspotential an Pflanzenschutzmittel-Rückständen. In Bayern werden (auf Basis der InVeKoS Anbaustatistiken geschätzt) nur auf max. 5 % der zusammengefassten Öko-Acker- und -Sonderkulturfläche Pflanzenschutzmittel ausgebracht, während der Prozentsatz im konventionellen Anbau hier deutlich höher liegt.

Durch die in der EU-Öko-Verordnung eng gesetzten Vorgaben für den Antibiotikaeinsatz in der Nutztierhaltung und die zuvor genannte Flächenbindung der Tierhaltung ist das Antibiotika-Austragspotential des ökologischen Landbaus deutlich reduziert.

Die Gefahr der Abschwemmung von an Bodenpartikel gebundenem P bzw. des P-Austrags über Drainagen ist aufgrund der Limitierungen beim P-Düngereinsatz, der niedrigen Boden-P-Werte (im Ökolandbau wird oft nur die Versorgungsstufe A oder B erreicht) und der ca. 30 % besseren Erosionsschutzleistung des Ökolandbaus stark vermindert. Neben der organischen Düngung sind nur Rohphosphat und P-Recyclingsdünger wie z. B. Struvit zugelassen. Rohphosphat wird aufgrund des geringen Wirkungsgrades kaum eingesetzt, Struvit ist bisher nur in geringen Mengen verfügbar.

Zudem spielt hier das meist geringere Wirtschaftsdüngeraufkommen je Flächeneinheit und damit verminderte Abschwemmungsgefahr eine Rolle, was wiederum mit der Flächenbindung der Tierhaltung zusammenhängt.

Die verminderte Bodenerosion wirkt sich zudem positiv auf die Gewässerfauna und die Makrophyten aus. Die Gründe dafür sind eine geringere Verschlämmung der Gewässersohle sowie insbesondere die verminderte Eutrophierungsgefahr.

6.12 Flächen mit Drainagen

Im Einzugsbereich von bayerischen Seen sind viele Flächen drainiert, genaue Kartierungen liegen leider oft nicht vor. Diese Flächen werden in vielen Fällen als Grünland genutzt. Untersuchungsergebnisse der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zeigen, dass bei Grünland nach Gülleausbringung und nachfolgendem Starkregen über Drainagen erhebliche Mengen an P über Makroporen, Trockenheitsspalten und Regenwurmgänge ausgewaschen werden und in die Oberflächengewässer gelangen können (Diepolder, M.; Raschbacher, S., 2008). In den Versuchen zeigte sich, dass durch die Verwendung von Gülleinjektionstechnik im Vergleich zur Breitverteilung im Dränabfluss geringere P-Konzentrationen erzielt werden können. Eine Erklärung dafür kann sein, dass weniger Regenwurmgänge und Makroporen mit Gülle benetzt werden. Im Einzugsbereich von belasteten, ökologisch sensiblen Oberflächengewässern ist die Gülleinjektion eine wirkungsvolle Maßnahme, den schädlichen P-Eintrag zu vermindern. Nicht untersucht wurde der Einfluss von Schleppschuh- und Schleppschlauchgeräten, es dürfte jedoch auch hier eine Minderung der P-Austräge zutreffen.

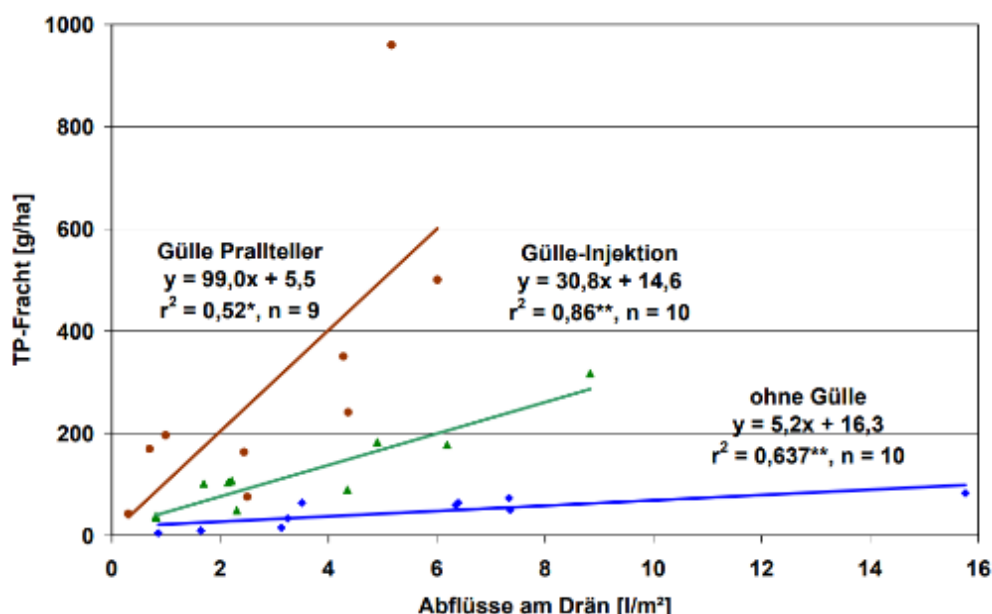


Abbildung 67: Beziehungen zwischen Abflussmenge am Drän und Austrag an Gesamt-Phosphor (TP) bei verschiedenen Düngungsvarianten nach simuliertem Starkregenereignissen (Diepolder, M.; Raschbacher, S., 2008)

6.13 Begrünte Abflussmulden

Weist ein Hang, der ackerbaulich genutzt wird, eine ausgeprägte Abflussmulde auf, in der sich bei Niederschlägen das Wasser sammelt und gebündelt abfließt, zeigen sich nach Starkregenereignissen oft extreme Erosionsschäden.

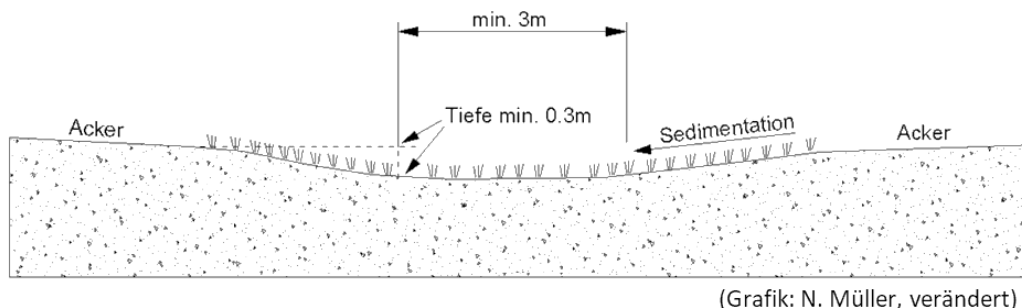


Abbildung 68: Abflussrinne (Bild: F. Nüßlein)

Ackerboden, der zum Zeitpunkt des Starkregenereignisses nicht oder nur spärlich mit einer Pflanzendecke bedeckt ist, verschlämmt sehr schnell und wird dadurch nahezu wasserundurchlässig. Die Infiltrationsrate des Bodens ist dann wesentlich geringer als die Intensität des Regens. In den Hangmulden fließt das Wasser aus den angrenzenden Flächen zusammen. Es bildet sich schnell und flächig Oberflächenabfluss in natürlich vorhandenen Abflussmulden (Tiefenlinien des Reliefs). Das abfließende Wasser führt insbesondere bei einem ungeschützten Boden auf Ackerflächen zu Rillen- oder sogar Grabenerosion.

Durch eine dauerhafte Begrünung (Feldfutter, Grünland) der Tiefenlinie wird die Bodenoberfläche geschützt. Die erhöhte Rauigkeit führt zu einer Verringerung der Fließgeschwindigkeit und gleichzeitig zu einer Erhöhung der Versickerungsleistung. Das Risiko, dass Boden in Oberflächengewässer eingetragen wird, kann somit stark gemindert werden. Auch der Eintrag von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln wird stark reduziert. Begrünte Abflussmulden sind daher bewährte und sehr wirksame Maßnahmen zum Wasser- und Stoffrückhalt in der Fläche.

Das Querprofil einer natürlichen Abflussmulde entspricht in etwa einer flachen Parabel. Die Breite der Begrünungsfläche sollte dem Abflussbereich bei Starkregen entsprechen. Anhaltspunkt dazu liefert die Größe des zu entwässernden Einzugsgebietes. Zusätzlich ist es empfehlenswert, ca. 1 - 4 m breite Seitenböschungen als Sedimentflächen einzuplanen, sodass sich eine Gesamtbreite von 6 bis 15 m (Unterhang) ergibt. Die Sohle sollte hierbei möglichst flach und breit sein.



(Grafik: N. Müller, verändert)

Abbildung 69: Schema einer begrünten Abflussmulde (LfULG, 2010)

Bei der Planung der begrünten Abflussmulde können neben den hydrologischen Parametern auch die landtechnisch bedingten Arbeitsbreiten berücksichtigt werden. Dadurch wird die Anlage und Pflege der begrünten Abflussmulde erleichtert. Je nach geplanter Nutzung des Grünstreifens erfolgt die Auswahl der Grasmischung. Die Ansaat sollte möglichst zeitnah nach der Ernte der Hauptfrucht als Mulchsaat erfolgen. Um einen dichten Bewuch mit einer intensiven Durchwurzelung des Bodens zu gewährleisten, ist es notwendig, die Abflussmulde einmal im Jahr zu mähen. Eine Beschädigung der Grasnarbe oder Befahren bei hoher Bodenfeuchte ist auf jeden Fall zu vermeiden, um die Funktionsfähigkeit der Abflussbahn zu erhalten. Zwischen dem angrenzenden Acker und der Abflussbahn dürfen keine Endfurchen gezogen werden, da sonst dort Tiefenerosion entsteht und das seitlich zuströmende Wasser nicht ungehindert in die Abflussmulde eintreten kann.

Maßnahme „Begrünung von Abflussmulden“ nach Erosionsschutzverordnung

Die Maßnahme „Begrünung von Abflussmulden“ wird in §4 Absatz 2 Punkt 3 der Erosionsschutzverordnung als Maßnahme aufgeführt, die sowohl in K_{Wasser1} als auch in K_{Wasser2} das dort beschriebene Pflugverbot aufhebt, wenn folgende Bedingungen erfüllt werden:

- das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten legt im Einzelfall auf Antrag die zu begründenden Abflussmulden des Feldstücks fest;
- die Begrünung erfolgt spätestens im Herbst des Vorjahres durch Einsaat von Getreide oder einer rasenbildenden Kultur;
- jede Abflussmulde des Feldstücks muss grundsätzlich mindestens neun Meter breit entlang der Tiefenlinie auf der gesamten Abflussmulde begrünt werden.

Auf der Grundlage von Bodeneigenschaften und Geländedaten hat die LfL für Bayern besonders gefährdete Abflussbahnen ermittelt. Die Erosionswege entlang der reliefbedingten Abflussbahnen sind häufig auch aus Luftbildern zu erkennen.



Abbildung 70: Erosionswege entlang reliefbedingter Abflussbahnen

Die Maßnahme „Begrünung von Abflussmulden“ kann z. B. mit der KULAP-Maßnahme „Erosionsschutzstreifen“ kombiniert werden. Dafür ist ein entsprechender KULAP-Antrag zu stellen. Die Vorgaben im Bescheid in Zusammenhang mit der Erosionsschutzverordnung sind dabei zu berücksichtigen. Weitere Auflagen in Zusammenhang mit Förderrecht oder bestehenden AUKM sind dabei zu berücksichtigen. Eine Förderung von GLÖZ 8-Flächen (Stilllegung von 4 % der Ackerflächen) über Agrarumweltmaßnahmen ist hingegen ausgeschlossen.

6.14 Gewässerrandstreifen

Die oben genannten Maßnahmen bieten keinen vollständigen Schutz vor Einträgen in Oberflächengewässer. Gewässerrandstreifen entlang von Fließgewässern und Gräben können ergänzend dazu als Pufferzone zur Verminderung von Sediment- und Nährstoffeinträgen in Gewässer (Abbildung 71) dienen, wenn sie entsprechend angelegt sind.

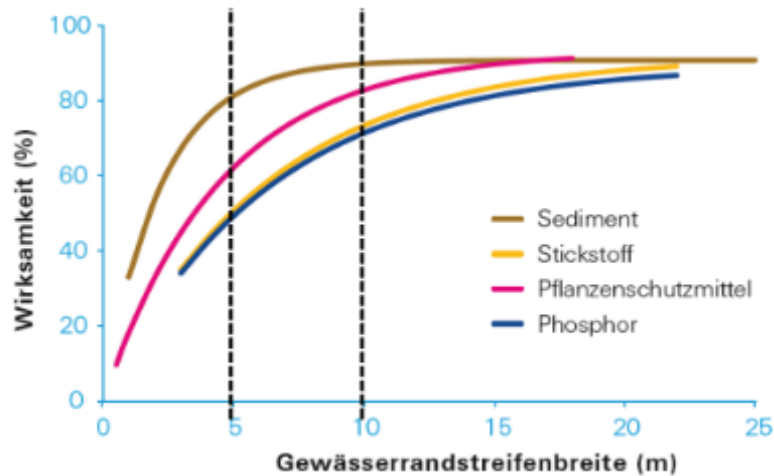


Abbildung 71: Wirksamkeit von Gewässerrandstreifen nach Zhang et al. (2010)

Es gibt daher sowohl im Wasser- als auch im Naturschutzrecht gesetzliche Vorgaben, die zu Einschränkungen der Nutzung und Bewirtschaftung der Gewässerrandstreifen führen. Der Begriff „Gewässerrandstreifen“ ist im Wasserhaushaltsgesetz (§38 WHG) definiert und beschreibt einen gesetzlich festgelegten, an ein oberirdisches Gewässer angrenzenden Bereich. In einzelnen Punkten gibt es abweichende Regelungen im Bayerischen Wassergesetz (BayWG) sowie dem Bayerischen Naturschutzgesetz (BayNatSchG), was den Überblick über umzusetzende Nutzungsgebote und -verbote erschwert. Flächen, die direkt in ein Gewässer im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes, des Wassergesetzes oder des Naturschutzgesetzes entwässern, sind selten. Der weit überwiegende Anteil von Oberflächenabfluss oder Bodenabtrag gelangt über Gräben und Rohre in diese Gewässer. Ein unmittelbarer Schutz dieser Gewässer durch Gewässerrandstreifen ergibt sich daher einerseits durch deren Filterwirkung, andererseits durch die Verminderung eines direkten Eintrags bei der Bewirtschaftung.

Im Bezug zur landwirtschaftlichen Bewirtschaftung von Flächen am Gewässerrand sind im Förder-, Dünge- und Pflanzenschutzrecht weitere Bestimmungen zu beachten. Für eine Umsetzung der Vorgaben in der Praxis ist es daher erforderlich, zunächst schrittweise zu prüfen:

1) Handelt es sich um ein relevantes oberirdisches Gewässer?

Unter einem oberirdischen Gewässer wird das ständig oder zeitweilig in einem Gewässerbett fließende oder stehende Wasser verstanden (§ 3 Nr. 1 WHG). Die Begriffe „künstliche Gewässer“ und „erhebliche veränderte Gewässer“ werden in § 3 Nr. 4 und 5 WHG bestimmt.

Ein Gewässerbett - auch bei einer nur zeitweisen Wasserführung - ist an Kies, Schotter oder Erdschichten erkennbar. Als Uferlinie gilt die Linie des Mittelwasserstands unter besonderer Berücksichtigung der Grenze des Pflanzenwuchses (Art. 12 Absatz 1 BayWG).

Be- und Entwässerungsgräben, kleine Teiche und Weiher, wenn sie mit einem anderen Gewässer nicht oder nur durch künstliche Vorrichtungen verbunden sind sowie von wasserwirtschaftlich untergeordneter Bedeutung sind, gelten nicht als oberirdische Gewässer (gem. BayWG). Auch

Straßenseitengräben - soweit sie kein natürliches Gewässer aufnehmen - sind keine oberirdischen Gewässer nach Wasserrecht.

Nach dem Bayerischen Naturschutzgesetzes (BayNatSchG) sind zusätzlich

- an eindeutig „Grünen Gräben“ mit klarem Grasbewuchs, die nur gelegentlich wasserführend sind und
- an künstlichen Gewässern

keine Gewässerrandstreifen erforderlich.

Auf staatlichen Flächen ist jedoch an großen und mittelgroßen Gewässern, die wasserwirtschaftlich von größerer Bedeutung sind (Gewässern 1. und 2. Ordnung) auch an künstlichen Gewässern ein Gewässerrandstreifen einzuhalten (gem. BayWG).

Als Unterstützung stellt das Bayerische Landesamt für Umwelt die „Orientierungshilfe Gewässer“ zur Verfügung. Diese stellt die relevanten Gewässerabschnitte für die Gewässerrandstreifen nach BayNatSchG sowie ab sofort auch für die Gewässerrandstreifen nach § 38a WHG dar. Diese Orientierungshilfe befindet sich derzeit im Aufbau und wird landkreisweise ergänzt. Die Orientierungshilfe kann im Umweltatlas Bayern unter folgendem Link abgerufen werden:

<https://umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/umweltatlas/index.html?lang=de>

Im Gegensatz zu den anderen rechtlichen Vorgaben sind die Abstandsaufgaben für die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln am Gewässerrand für ständig bzw. periodisch wasserführende Gewässer einzuhalten! Die jeweiligen Gewässerabstände sind verpflichtend zu beachten (siehe Anlage 1 und 2, S. 135).

2) Ist eine Böschungsoberkante vorhanden?

Der Gewässerrandstreifen bemisst sich ab der Linie des Mittelwasserstandes, bei Gewässern mit ausgeprägter Böschungsoberkante ab der Böschungsoberkante (Abbildung 72).

Auch bei den Vorgaben der DüV und des Pflanzenschutzgesetzes sowie den Anforderungen im Rahmen von GLÖZ 4-Pufferstreifen entlang von Wasserläufen gelten jeweils die Böschungsoberkante als Bemessungsgrenze.



Abbildung 72: Schematische Darstellung von Böschungsoberkante, Mittelwasserstand und Uferlinie (StMELF, 2023)

3) Welche Vorgaben bestehen zur Ausgestaltung des Gewässerrandstreifens und dessen landwirtschaftlicher Nutzung?

Nutzungsgebote und -verbote nach §38a WHG: Eigentümer und Nutzungsberechtigte haben auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, die an Gewässer grenzen und innerhalb eines Abstandes von 20 m zur Böschungsoberkante eine Hangneigung zum Gewässer von durchschnittlich 5 % aufweisen, innerhalb eines Abstandes von **5 m** landseits ab Böschungsoberkante eine geschlossene, ganzjährig begrünte Pflanzendecke zu erhalten oder herzustellen. Eine Bodenbearbeitung zur Erneuerung des Pflanzenbewuchses darf einmal innerhalb von Fünfjahreszeiträumen durchgeführt werden. Der erste Fünfjahreszeitraum beginnt mit dem 1. Juli 2020.

Nach dem GAP-Konditionalitätengesetz GLÖZ 4 dürfen Pflanzenschutzmittel, Biozid-Produkte und Düngemittel auf landwirtschaftlichen Flächen, die an Gewässer angrenzen, innerhalb eines Abstandes von **3 m**, gemessen ab der Böschungsoberkante, nicht angewendet werden.

Nach dem Bayerischen Naturschutzgesetz ist in einer Breite von 5 m eine acker- und gartenbauliche Nutzung untersagt. Aufgrund des Bayerischen Wassergesetzes ist darüber hinaus entlang von Gewässern 1. und 2. Ordnung auf Flächen des Freistaates Bayern auf einer Breite von 10 m der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln verboten.

Ermittlung der durchschnittlichen Hangneigung:

Die Überprüfung der Hangneigung kann im iBALIS vorgenommen werden. Ein Gewässerrand ist anzulegen, wenn auf mindestens 50 % der Prüffläche eines Feldstückes die gesetzlich vorgegebene Hangneigung von 5 % erreicht bzw. überschritten wird (durchschnittliche Hangneigung der Prüffläche). Das Ergebnis wird von der Umwelt- und Landwirtschaftsverwaltung verbindlich anerkannt. Eine korrekte Anwendung der Überprüfung wird jedoch vorausgesetzt.

4) Welche (zusätzlichen) Abstandsauflagen sind einzuhalten?

Mit der aktualisierten Pflanzenschutzmittel-Anwendungsverordnung werden nun Gewässerabstände für die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln bundesweit grundsätzlich vorgeschrieben. So dürfen Pflanzenschutzmittel an Gewässern, ausgenommen kleine Gewässer von wasserwirtschaftlich untergeordneter Bedeutung, innerhalb eines Abstandes von 10 m zum Gewässer nicht angewendet werden. Eine Verringerung des Abstandes auf 5 m ist nur dann möglich, wenn eine geschlossene, ganzjährig begrünte Pflanzendecke vorhanden ist. Abstandsauflagen nach dem Pflanzenschutzrecht sind darüber hinaus zu beachten.

In der folgenden Abbildung 73 werden die zusätzlichen Regelungen der DüV in Abhängigkeit von der Hangneigung dargestellt.

Wenn dauerhaft begrünte Gewässerrandstreifen auf der gesamten Breite gleichmäßig vom abfließenden Wasser langsam durchströmt werden, ausreichend breit sind und der Hang zum Gewässer flach ausläuft, sind Grünstreifen eine effektive Maßnahme, Sediment aus Bodenerosion auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche zurückzuhalten und somit auch die mit dem Boden transportierten Nähr- und Schadstoffe aus dem Wasser auszukämmen und Sedimenteinträge in die Gewässer zu reduzieren. Daher gibt es neben den rechtlichen Vorgaben weiterhin die Möglichkeit der Förderung von mind. 10 und max. 30 m breiten begrünten Streifen entlang von Gewässern über die KULAP-Maßnahme K50 – Erosionsschutzstreifen.

Das Diagramm zeigt einen Querschnitt durch ein Feld mit einem Gewässer (blau) auf der linken Seite. Ein roter Düngewagen befindet sich auf dem Feld. Ein horizontaler Pfeil markiert den 'Gewässerabstand beim Düngen'. Der Bereich links vom Pfeil ist mit 'Keine Düngung!' beschriftet, der Bereich rechts mit 'Düngung mit Auflagen'.

Hangneigung der Fläche	Nicht gelbe Fläche		Gelbe Fläche		Zusätzliche Anforderungen (alle Flächen)			
	Keine Düngung (AL/DG)	Abstand mit Auflagen	Keine Düngung (AL/DG)	Abstand mit Auflagen	unbestellter Acker	bestellter Acker		auf Acker und Grünland
< 5 %	1 m *	4 m	1 m **	5 m	* 4 m / ** 5 m Mindestabstand, wenn Streubreite ≠ Arbeitsbreite			
5 % bis < 10 %	3 m *	20 m	3 m **	20 m	sofortige Einarbeitung innerhalb des Abstands	a) mit Reihenkultur (Reihenabstand ≥ 45 cm) ↓ entwickelte Untersaat oder sofortige Einarbeitung	b) ohne Reihenkultur ↓ hinreichende Bestandsentwicklung	c) Anbau im Mulch- oder Direktsaatverfahren
10 % bis < 15 %	5 m	20 m	10 m	30 m				
≥ 15 %	10 m	30 m	10 m	30 m	sofortige Einarbeitung auf der Gesamtfläche			

Stand: 20.06.2022

Abbildung 73: Abstandsauflagen der DüV

Aus den Anforderungen ergibt sich die Empfehlung, an allen oberirdischen Gewässern einschließlich nur periodisch wasserführender Gewässer (Indiz: Wasserpflanzenvegetation vorhanden) einen dauerhaften Grünstreifen von mindestens 5 m Breite ab der Böschungsoberkante anzulegen und dort auf die Anwendung von Düng- und Pflanzenschutzmitteln zu verzichten. Eine Beerntung des Grünstreifens ist uneingeschränkt möglich. Damit werden die Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes, des Bayerischen Naturschutzgesetzes, des Bayerischen Wassergesetzes, des GAP-Konditionalitätengesetzes (GLÖZ 4 – Pufferstreifen entlang von Gewässerläufen), der Düngeverordnung (DüV und AVDüV) und der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung weitestgehend erfüllt und die übrige Fläche kann uneingeschränkt bewirtschaftet werden. Lediglich drei Fallkonstellationen sind dadurch noch nicht abgedeckt und ggf. zusätzlich zu berücksichtigen:

- Die Anwendungsbestimmungen einzelner Pflanzenschutzmittel geben größere Abstände vor, die zusätzlich einzuhalten sind.
- Bei der Düngung sind ab einer Hangneigung von 10 bzw. 15 % größere Abstände zum Gewässer bzw. zusätzliche Auflagen zu beachten.
- Auf Grundstücken des Freistaats Bayern ist an Gewässern 1. und 2. Ordnung ein 10 m breiter Gewässerrandstreifen anzulegen.

Ausführliche Informationen zu den jeweiligen Vorgaben sind zu finden unter:

<https://www.stmelf.bayern.de/foerderung/index.html>

<https://www.lfl.bayern.de/ips/recht/286906/index.php>

<https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/index.php>

<https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesserrandstreifen/index.htm>

6.15 Strukturelemente zum Nährstoffrückhalt

Autoren: Thomas Corbeck, Bayerische Verwaltung für Ländliche Entwicklung/boden:ständig

Am effektivsten wäre, Nährstoffausträge gar nicht erst entstehen zu lassen. Aber es wird immer (Regen-)Fälle geben, in denen das nicht völlig zu vermeiden ist und Austräge an späterer Stelle zurückgehalten werden müssen und können. Dafür braucht es nicht zwingend große Auffangbecken – viele Maßnahmen lassen sich, z. B. mittels leichter Geländemodellierungen, flächensparend entlang der Fließpfade und z. T. sogar produktionsintegriert auf den Flächen umsetzen.

Das grundlegende Prinzip ist dabei immer: Bremsen. Das verhindert nicht nur erosive (Rinnen-) Erosion; es schafft auch Zeit für

- Versickerung und damit die Ausnutzung des Bodenfilters
- Auskämmen: Die Rauigkeit (Bewuchs), die den Abfluss bremst, kann Bodenpartikel und daran gebundene Nährstoffe zurückhalten
- Absetzen der bereits in Transport befindlichen Partikel.

Wo Oberflächenabfluss gebündelt abfließt, sollte ihm daher immer ein möglichst raues Bett gegeben werden. Der Fließquerschnitt beeinflusst ebenfalls die Abflussgeschwindigkeit (Tabelle 32). Wo auch das nicht genügt, kann der Abfluss aufgefangen und temporär zurückgehalten werden.

Tabelle 32: Gegenüberstellung von Fließzeiten verschiedener Gerinnegeometrien (nach Seibert/Auerswald, 2020, verändert)

Gerinnetyp/Eigenschaften				
	Geräumter Graben	Betonrohr	Begrünter Graben	Begrünte Mulde
Rauheit k ($m^{1/3}/s$)	35	67	25	25
Sohlbreite /Rohrdurchmesser (m)	0,3	0,75	1	-
Böschungsneigung	1	-	1	~0,05
Fließtiefe (cm)	60,9	52,7	48,6	33,6
Hydraulischer Radius (m)	0,27	0,22	0,30	0,22
Lichte Grabenöffnungsweite bei einer Gerinnetiefe von 0,7 m (m)	1,7	-	2,4	4,3
Fließgeschwindigkeit v (m/s)	1,8	3,0	1,4	1,1
Fließzeit für 2 km (min)	18	11	24	30
Fließzeit relativ (%)	100	-40	+30	+62
Fließzeit/-geschwindigkeit in Abhängigkeit der Gerinnegestaltung bei gleicher Neigung (1,5%), gleicher Abflussrate (1000 l/s) und gleicher Fließstrecke (2 km). Geändert nach: Seibert und Auerswald 2020				

All diese Strukturen sollten aus mehreren Gründen so dezentral wie möglich im Einzugsgebiet stattfinden:

- Eine Rückhaltestruktur schützt immer nur, was unter ihr liegt.
- Viele kleine Maßnahmen lassen sich flächen- und kostensparend naturnah einfügen – z. B. auf ohnehin unproduktiven Randflächen oder produktionsintegriert
- Außerdem kann das anfallende Absetzmaterial so oft ohne umfassende Beprobungen wieder auf den angrenzenden Flächen ausgebracht werden.
- Nicht zuletzt steht nur Wasser, das in der Flur verbleibt und dort versickert, der Landschaft auch nach dem Regen noch zur Verfügung.

Die grundlegende Überlegung für die Wahl eines geeigneten Standortes muss sein: Wo fließt das Wasser her – und wieviel? Letzteres lässt sich aus dem Einzugsgebiet dieses Punktes abschätzen. Im Zweifelsfall gibt es auch für die auftretende Menge pro Zeit (Scheitelwelle) Schätzmethoden, z. B. bei Seibert und Auerswald (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-61033-6>).

Die üblichen Abflusswege, die bei Starkregen anspringen, sind den Landwirten für die Flur sicherlich bekannt. Digitale Geländemodelle (empfehlenswert dgm-1; Höhenlinien aus topographischen Karten genügen i.d.R. nicht) können ebenfalls Hinweise liefern. Nicht zu vernachlässigen sind aber auch ‚unsichtbare‘ Kurzschlüsse wie Verrohrungen oder gar Drainagen/Drainsammler – gerade letztere leiten gelöste (und in nicht unerheblichem Umfang oft auch partikulär gebundene) Nährstoffe auf direktestem Weg in die Vorfluter. Ähnlich wirken Gräben, wenn sie den Zwischenfluss anschneiden.

Ein Rückhalt muss für dieses Wasser auch erreichbar sein – oder es muss zu ihm abgeleitet werden.

Ob am Fuße oder auch entlang begrünter Abflussbahnen, sonstiger Tiefenlinien oder sogar Wegseitengräben – es gibt verschiedene Formen, wie eine gewisse Menge Niederschlag auf- und somit in der Flur erhalten werden kann. Welche davon die geeignetste ist, wird im Einzelfall zu betrachten sein. Wo möglich sollten die natürlichen Gegebenheiten ausgenutzt werden. Es gibt nicht ‚die‘ Blaupause für geeignete Maßnahmen. Auch Kombinationen von Wirkungen sind oft denkbar.

Die Wirksamkeit von Maßnahmen kann ebenfalls nur im Einzelfall abgeschätzt werden. Sie ist oft von zahlreichen Faktoren abhängig; nicht zuletzt dem Eintrag (Abflussereignis; Rückhalte oberhalb).

Ausgewählte Maßnahmentypen

Im Folgenden werden einige Maßnahmenkategorien kurz angesprochen und auf einige dabei zu berücksichtigende Aspekte eingegangen. Beispiele bereits umgesetzter Maßnahmen können als Anregung dienen (siehe Anhang 3, S. 137).

Bremsende Strukturen können Landschaftselemente wie Ranken und andere Hanglängenverkürzungen sein. Durch leichte Geländemodellierungen kann auch auf (Grünland-)Flächen das Wasser länger zurückgehalten und zur Versickerung gebracht werden (Abbildung 74). Bei flacher, großräumiger Ausgestaltung bleiben sie weiterhin bewirtschaftbar. Gegebenenfalls muss der Zufluss gesteuert werden, um Vernässung zu vermeiden. In der Regel sollten sie nur bei Starkregen anspringen. Achtung: der für die Modellierung nötige GL-Umbruch muss vorher mit dem AELF abgestimmt sein. Auch die Vorgewende von z. B. Dauerkulturen können hier als Standorte geeignet sein ohne weitere Fläche zu kosten. Eine besondere Betrachtung wert sind hier Gewässerrandstreifen: Deren Wirkung ist grundsätzlich bekannt – aber oftmals deutlich begrenzt dadurch, dass ein Großteil des Abflusses aus dem Einzugsgebiet sie nur auf schmaler Breite überquert. Und das dann in einer Intensität, die die Wirkung des Streifens übersteigt. Durch Modellierung (Ableitung in die gewässerparallele Fläche und damit breitflächige Versickerung ins Gewässer) kann ihre Wirkfläche vergrößert werden. Allerdings werden dafür i.d.R. mehr als die minimalen 5 m gebraucht.

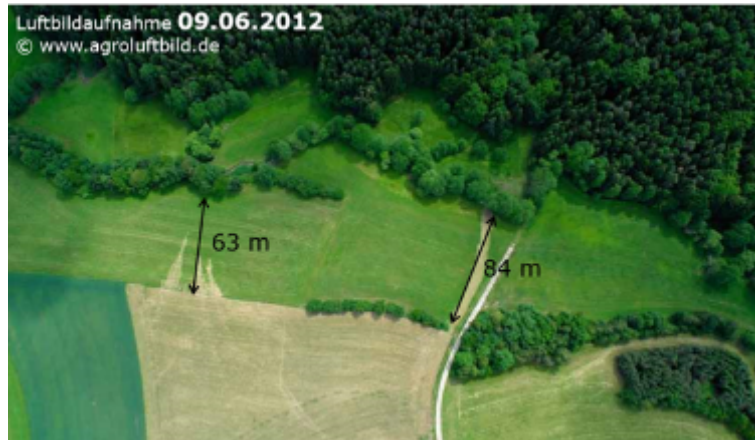


Abbildung 74: Erosionsfahnen auf Grünland (Bild: W. Bauer, Agroluftbild, 2012)

Bereits in Gerinnen (inkl. Wegseitengräben und Verrohrungen) fließender Abfluss kann durch Ausleitungen auf geeignete Flächen verbracht und auf diesen verrieselt werden. Zu beachten ist hier, dass an der Eintrittsstelle keine Erosion verursacht wird. Die Standortvoraussetzungen für solche Rieselflächen sind an sich gering: Unempfindlichkeit gegenüber der Einleitung und ein gewisses Gefälle. Geeignet sind daher oftmals Ödflächen bis hin zu (Wegseiten-)Böschungen.

Daneben können Gräben, eine gewisse Fläche vorausgesetzt, auch aufgeweitet werden bis hin zu Feuchtfächen, die wie kleine Durchströmungskläranlagen fungieren. Bestenfalls wird das Wasser hier im ‚Wildbachmuster‘ durch Bewuchs geleitet. Darauf ist auch bei jeder der nötigen Räumungen wieder zu achten.

Bei Becken geht es nicht nur um größere Anlagen mit umfangreicher Standsicherheitsplanung. Auch kleine Erdbecken können an entsprechenden Stellen ihre Wirkung entfalten. Je nach gewünschter Wirkweise ist dabei auf unterschiedliches zu achten:

- **Absetzbecken:** Hier sollen Bodenmaterial und damit partikulär gebundene Nährstoffe abgesetzt werden. Voraussetzung dafür ist, dass das Wasser tatsächlich zur Ruhe kommt. Auch bei Starkregen darf keine Rücklösung stattfinden; ein Bewuchs (z. B. Rohrkolben) kann hier unterstützen. Das saubere Wasser darf daher auch nur ‚oben‘ abgeführt werden; z. B. über eine begrünte Überlaufscharte oder einen Mönch. Das übrige verdunstet. Das abgesetzte Material muss beizeiten wieder ausgeräumt werden.
- **Sickerbecken:** funktionieren im Prinzip wie die o.g. Mulden. Durch die Bodenfilterwirkung zielen sie auch auf gelöste Nährstoffe (gelöster Phosphor $P_{\text{gelöst}}$) ab. Durch den höheren Anspruch an solche Becken sind einige Punkte kritischer zu beachten: Es braucht natürlich einen sicker- (und filter-)fähigen Untergrund mit ausreichenden freien Austauschern. Eine Belastung von Grundwasserleitern muss ausgeschlossen sein. Darüber hinaus braucht es aber auch ein ausreichendes Sickergefälle, also Höhenunterschied zum nächsten Vorfluter. Bewuchs kann auch in Sickerbecken die Wirkung erhöhen. Sickerbecken haben i.d.R. keinen regulären Ablass (Notablass beachten), damit das Wasser langsam versickern kann. Auch bei Sickerbecken sind Ausräumungen notwendig, da in den seltensten Fällen ausschließlich gelöste Nährstoffe eingetragen werden. Die anzunehmende Funktionsdauer des Bodenfilters kann enorme Spannweiten/Unsicherheiten aufweisen; hauptsächlich abhängig von der Zufuhr.
- **Becken und Feuchtfächen** zum regelrechten Nährstoffabbau, z. B. Denitrifikation, benötigen fundierte ingenieurökologische Fachplanung und seien daher an dieser Stelle nur erwähnt.
- **Becken mit Grundablass** können zwar Abflussscheitel reduzieren, haben aber i.d.R. keine rückhaltenden Wirkungen auf Nährstoffe.

Becken können konstruktiv gebaut werden (Damm; Standsicherheit!) oder auch durch Abgrabungen entstehen. Letzteres ist schon aufgrund des Reliefs nicht überall möglich – zu bedenken ist auf jeden Fall, dass damit mindestens der Zwischenabfluss angeschnitten wird.

Grundsätzlich lassen sich alle Maßnahmen auf oberflächliche Abflüsse anwenden – aber auch das gezielte Anschneiden/Ausleiten von Zwischenabflüssen, Drainagen etc. kann diese an geeigneten Stellen einer Reinigung zuführen. Dabei ist zu beachten, dass Nutzflächen nicht mit Abwässern aus z. B. Straßenabfluss belastet werden. Außerdem ist bei zu erwartenden größeren Mengen sicherzustellen, dass der Anschnitt keine (Erosions- oder Überflutungs-) Probleme im Ablauf verursacht.

Für die Umsetzung der oben genannten Maßnahmen stehen z. T. verschiedene Fördermöglichkeiten zur Verfügung (u. a. KULAP (z. B. I88), FlurNatur). Zu bedenken ist auch, dass manche Maßnahmen der Unterhaltungspflege bedürfen, um langfristig wirksam zu bleiben. Die Verantwortung hierüber sollte frühzeitig geklärt werden.

Da es sich bei diesen Maßnahmen möglicherweise um Eingriffe in den Wasserhaushalt handelt, ist im Zweifelsfall eine frühzeitige Kommunikation mit der Wasserwirtschaft (Wasserrecht) zu empfehlen.

Im Anhang 3, S. 137, sind Beispiele angeführt, die auf oder an landwirtschaftlichen Flächen realisiert wurden – nicht selten von den Landwirten selbst; teilweise mit Unterstützung der unterliegenden Gemeinde, die von den Maßnahmen profitiert.

7 Beratung

Autor: Dr. Matthias Wendland, LfL

Der wichtigste Maßnahmenbaustein im Grundwasser- und Oberflächengewässerschutz ist die Beratung. Zahlreiche Projekte haben gezeigt, dass sie unbedingt längerfristig angelegt sein muss. Für die einzelbetriebliche Beratung spielt das Vertrauen zum Berater eine wichtige Rolle, da der Landwirt sensible Daten bereitstellt. Daher ist die Kontinuität der Beratung hinsichtlich der Finanzierung als auch der Person des Beraters eine Voraussetzung für den Erfolg. Es benötigt Zeit, um Vertrauen zum Berater zu fassen, erst dann ist ein offener Datenaustausch und eine intensive Zusammenarbeit möglich. Die Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Bayern bieten mit der Gewässerschutzberatung interessierten Landwirten eine qualifizierte Unterstützung an. In Wasserschutzgebieten wird der Berater oft von den Wasserversorgern finanziert. Für eine gesamtbetriebliche Optimierung kann es notwendig werden, Spezialisten anderer Fachrichtungen (z. B. Tierernährung) hinzuzuziehen.

Um Schwachstellen zu lokalisieren sowie als Grundlage für eine zielorientierte Planung von Maßnahmen, sind folgende vorbereitenden Schritte und Erhebungen notwendig:

- Identifizierung des Belastungsgrades der örtlichen Gewässer und möglicher Ursachen
- Festlegung des Beratungsgebietes
- Bodenkundliche Daten
- Erosionsgefährdungskarten
- Hydrogeologische Daten
- Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe im Gebiet
- Betriebstypen (Ackerbau, Tierhaltung, Biogasanlagen, ...)
- Betriebsgrößen und Erwerbstyp (Haupt-, Nebenerwerb)
- Anteil der jeweiligen Betriebsflächen mit Flächennutzung im Gebiet
- Anteil drainierter Flächen
- Einbeziehung von betroffenen Behörden, Verbänden im Gebiet (z. B. Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Wasserwirtschaftsamt, Wasserversorgungsunternehmen, BBV)
- Definition des Zieles

Anhand dieser Daten können der Beratungsbedarf zielgerichtet bestimmt und standortgerechte Maßnahmen entwickelt werden. Wichtig ist, die Konzepte gemeinsam mit allen Betroffenen zu erstellen, um die Akzeptanz der Maßnahmen zu verbessern.

Die nächsten Schritte nach der Bestandserhebung sind:

- Informationsveranstaltungen für Landbesitzer und -bewirtschafter im festgelegten Gebiet zur Vorstellung der Problematik und der Vorüberlegungen zu den notwendigen Maßnahmen
- Angebote an Betriebe für freiwillige, einzelbetriebliche Beratung
- Priorisierung von Beratungsbetrieben anhand der Betriebsgröße, Flächenanteil im Gebiet, Viehbesatz, geschätztem Gefährdungspotential und direkte Ansprache dieser Betriebe zum Angebot einer zielgerichteten, einzelbetrieblichen Beratung.
- Datenerhebung auf diesen Betrieben und Abstimmung eines betriebsbezogenen Maßnahmenplanes.

Begleitende Aktivitäten während der Vegetationszeit:

- Intensivberatung der priorisierten Betriebe
- Flurbegehungen, am besten zu Zeitpunkten, an denen aktuell Düngungs- oder Pflanzenschutzmaßnahmen bevorstehen und diskutiert werden können
- Rundschreiben, Infomails mit aktuellen pflanzenbaulichen Informationen zur Düngung und zum Pflanzenschutz
- Internetinformationen
- Infotag für beteiligte Institutionen und Öffentlichkeit
- Besichtigung von Schauversuchen

Während des Winters:

- Erfolgskontrolle der Beratung in den priorisierten Betrieben z. B. durch Vergleich der Düngeempfehlung mit der tatsächlichen Düngung und Auswertung der betrieblichen Nährstoffbilanzen zusammen mit den Herbst-Nmin-Werten (z. B. Einsparmöglichkeiten beim Mineraldüngerzukauf, Verbesserung der Nährstoffeffizienz)
- Informationsveranstaltungen mit Bewirtschaftern und Betroffenen im Gebiet, Vorstellung der Ergebnisse, Diskussion und Anpassung von Maßnahmen

Weitere bewährte Maßnahmen:

- Die Bildung von Arbeitskreisen wird oft kritisch beurteilt, kann jedoch in größeren Beratungsgebieten sehr nützlich sein. Die Arbeitskreismitglieder erarbeiten gemeinsam Vorschläge für Maßnahmen und Aktionen. Als Teilnehmer kommen neben dem Berater, einem Vertreter der beteiligten Institutionen (Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Wasserwirtschaftsamt, Wasserversorger) vor allem Landwirte aus der Intensivberatung in Frage.
- Demonstrationsbetriebe/Gewässerbauern
Wenn es darum geht, die Wirkung von Maßnahmen oder neuen Verfahren zu diskutieren und zu beurteilen, hilft der Erfahrungsaustausch unter Landwirten oft mehr als die Vorstellung von Zahlen und Versuchsergebnissen durch den Berater. In der oberösterreichischen Wasserschutzberatung z. B. hat sich das Einrichten von Demonstrationsbetrieben, dort „Gewässerbauern“ genannt, sehr bewährt. Das sind Modellbetriebe, die auf Gewässerschutz bezogene besondere Maßnahmen und Verfahren durchführen und die Multiplikatorenfunktion haben. Sie stehen in engem Kontakt zu den Beratern und planen mit ihnen zusammen.

Beratungsinstitutionen:

- Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- Berater von Wasserversorgungsunternehmen
- Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung in Bayern e.V. (LKP)
- Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V. (LKV)
- Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe (KBM)
- Ökoverbände und Branchenverbände wie z. B. Bayerischer Bauernverband und Fachverband Biogas (<https://www.stmelf.bayern.de/landwirtschaft/wasserpakt-vereinbarung-zum-kooperativen-gewaesserschutz/index.html>).

LKV, LKP und KBM sind insbesondere auch im neuen Verbundberatungsfeld Nährstoffhaushalt. Dieses umfasst:

- Vorgaben des Düngerechts und zur Luftreinhaltung
- Umsetzung im Bereich der Tierhaltung: Fütterung, Optimierung der Nährstoffeffizienz, u. w.
- Umsetzung im Bereich Pflanzenbau: Effizienzsteigerung beim Nährstoffeinsatz, Düngebedarfs-ermittlung, Nachbereitung mit Dokumentation, u. w.
- Erstellung von Stoffstrom- und Stallbilanzen als Grundlage zur Aufdeckung von betrieblichen Schwachstellen und Ableitung des Anpassungsbedarfs gemeinsam mit dem Landwirt
- Datenerfassung und Bilanzierung von Treibhausgasen anhand der von der LfL vorgegebenen Programme
- Qualitätsmanagementsysteme, Risikobewertung, Ökonomik

Grundlage für diese Beratung ist wiederum die betriebliche Situationsanalyse.

8 Kooperationen

Autoren: Hubert Weidner, LfU, Dr. Matthias Wendland, LfL

Die Nitratbelastung des Grundwassers, die derzeit auf hohem Niveau stagniert, erfordert gemeinsame Anstrengungen des Gegensteuerns. Wasserschutzgebiete sind auch künftig das wichtigste Instrument für einen dauerhaften, vorsorgenden Schutz unseres Trinkwassers. Neben den ordnungsrechtlichen Regelungen in Wasserschutzgebieten, die die Mindestanforderungen an die Landbewirtschaftung unter den örtlichen Randbedingungen abdecken müssen, bieten sich weitere Maßnahmen an, um die Schutzgebietsverordnungen individuell und flexibel zu ergänzen.

Für den risikobasierten Ansatz in den Einzugsgebieten der Entnahmestellen für die Trinkwassergewinnung (TrinkwEGV) und als Ergänzung der Schutzgebietsverordnung bieten sich freiwillige, privatrechtliche Kooperationen zwischen dem Träger der öffentlichen Wasserversorgung und den im Trinkwassereinzugsgebiet wirtschaftenden Landwirten an. Kooperationen bieten weitreichende Möglichkeiten zur langfristigen Sicherung und Verbesserung der Trinkwasserqualität, vor allem sind sie derzeit das beste Mittel zur Reduzierung von Nitrat-Grenzwertüberschreitungen. Mit der Kooperation werden neben dem gesetzlich vorgeschriebenen Ausgleich darüberhinausgehende Leistungen der Landwirtschaft für den Grundwasserschutz abgegolten.

Erfolgreiche Kooperationen erfordern die zielgerichtete Zusammenarbeit aller Akteure (Wasserwirtschaftsverwaltung, Wasserversorger, Landwirtschaft). Nur durch die Mitwirkung aller Beteiligten kann die notwendige Akzeptanz für den vorsorgenden Trinkwasserschutz erreicht werden.

Inhalte der Kooperationen sind Maßnahmen, die über die Vorgaben der Wasserschutzgebietsverordnungen hinausgehen und einem erweiterten Grundwasserschutz dienen. Das betrifft neben Düngungsmaßnahmen auch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln.

Bei den Vertragsinhalten lassen sich zwei Ansätze unterscheiden: Zum einen werden den Landwirten einzelne Maßnahmen, wie sie in diesem Heft aufgeführt sind, zur Auswahl angeboten und entsprechend honoriert. Zum anderen wird die Höhe der Prämie vom Ergebnis der Herbst-Bodenuntersuchung auf $N_{\min}$ abhängig gestaltet. $N_{\min}$ -Gehalte unter einem festgesetzten Wert werden mit Prämien belohnt. Die einzelnen Maßnahmen zum Erreichen des Zielwertes werden individuell den örtlichen Gegebenheiten angepasst. Beide Systeme haben Vor- und Nachteile und sollten je nach Akzeptanz der beteiligten Landwirte eingesetzt werden. Erfolgsversprechend ist die Unterstützung der Landwirte durch eine spezielle Beratung (z. B. Fachbüros) anzubieten. Aufgabe der Fachbüros ist es, mit den Landwirten die für den Standort geeignetsten Maßnahmen auszuwählen, sie bei den Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen zu beraten und die Umsetzung zu begleiten.

Als Maßnahmen bieten sich die in diesem Heft genannten Möglichkeiten in standortangepassten Variationen an.

9 Vermarktung

Autor: Dr. Matthias Wendland, LfL

Maßnahmen zum Gewässerschutz erfordern mehr Planung, oft höhere finanzielle Aufwendungen und können auch mit dem Risiko geringerer Flächenerträge verbunden sein. In Wasserschutzgebieten ist für die wirtschaftlichen Nachteile, welche durch die festgesetzten erhöhten Aufwendungen entstehen, ein Ausgleich zu leisten (Art. 32, Bayerisches Wassergesetz). Das gilt aber nicht für Wassereinzugsgebiete oder andere sensible Gebiete.

Hier bietet sich regional die Möglichkeit, über besondere Vermarktungsformen höhere Preise und dadurch einen Ausgleich für die erhöhten Anforderungen zu erhalten. In der heutigen Zeit werden regional erzeugte Lebensmittel immer mehr nachgefragt. Das ist auch für gewässerschonend vor Ort erzeugte Lebensmittel eine Chance. Ein sehr positives Beispiel ist das Wasserschutzbrot aus Franken (<https://wasserschutzbrot.de/>) oder aus Niederbayern (<https://wasserschutzbrot.de/wasserschutzbrot-niederbayern-2022/>).

Beim Anbau von Weizen wird beispielsweise die N-Düngung reduziert, was sich auf den Eiweißgehalt und damit auch auf die Backfähigkeit auswirken kann. Regionale Mühlen verarbeiten den Weizen und örtliche Bäcker stellen daraus das Wasserschutzbrot her. Die Vorteile dieser Initiative liegen in der grundwasserschonenden Produktion und höheren Erlösen für die teilnehmenden Landwirte. Gleichzeitig können Verbraucher einen Beitrag zum sauberen Trinkwasser leisten und werden für das Thema sensibilisiert.

Ähnliche Projekte können auch in anderen Gebieten zum Grundwasserschutz beitragen, ohne dass die Wertschöpfung in der Landwirtschaft leidet. Das Netzwerk „Unser Land“, das in 11 Landkreisen um München in der Vermarktung regional und nachhaltig erzeugter Lebensmittel aktiv ist, bietet sich für ähnliche Projekte an (www.unserland.info). Für Vorhaben in besonderen Vermarktungsformen stehen auch verschiedene Fördermittel zur Verfügung, z. B.: Verarbeitung und Vermarktung von regionalen landwirtschaftlichen Erzeugnissen (VuVregio)

https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerdergeber/S/stmelf-bayerisches_staatsministerium_fuer_ernaehrung_landwirtschaft_und_forsten.html .

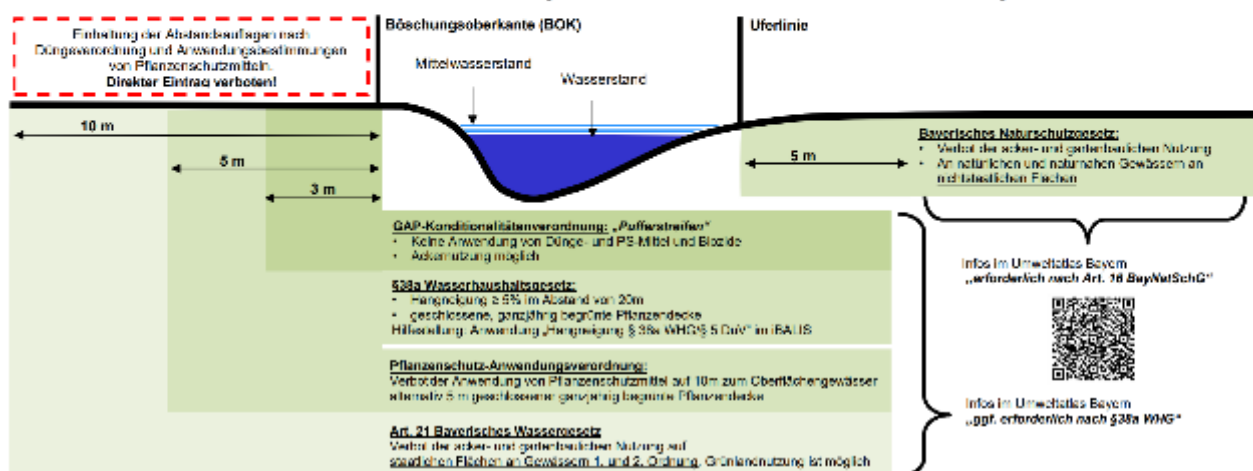
Anhang

Anhang 1: Gewässerdefinition, Abstandsaufgaben und Gewässerrandstreifen

Quelle: Bay. StMELF, Gz. 4500-1/313, Stand 11/2023

Ständig und periodisch wasserführende Oberflächengewässer § 38 Abs. 1 Satz 1 PflSchG	Oberirdische Gewässer § 2 Abs. 1 WHG und § 2 Abs. 2 WHG i.V.m. Art 1 Abs. 2 BayWG	Natürliche und Naturnahe Gewässer Art. 18 BayNatSchG
Abstandsaufgaben (im Anwendungsbereich bezüglich Oberflächengewässern z. B. NW-Auflagen) im Rahmen des Zulassungsverfahrens von Pflanzenschutzmitteln	§ 15 GAP-Konditionalitätenverordnung, GAP-KondV § 38a Wasserhaushaltsgesetz, WHG § 5 Düngungsverordnung, DüV § 4a Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung, PflSchAnwV	Gewässerrandstreifen nach Volksbegehren „Rettet die Dienen“
Informationen zur Gewässereinstufung im Umweltatlas Bayern – Themenkarte Gewässerrandstreifen https://www.umweltatlas.bayern.de		
Ländliche Oberflächengewässer im Umweltatlas gekennzeichnet mit „ggf. erforderlich nach § 38a WHG“		Ländliche Oberflächengewässer im Umweltatlas gekennzeichnet mit „erforderlich nach Art. 18 BayNatSchG“

Hinweise zu rechtlichen Grundlagen zu Gewässerrandstreifen und Abstandsaufgaben



Anhang 2: Rechtliche Vorgaben an Gewässern

Quelle: Bay. StMELF, Gz. 4500-1/313, Stand 11/2023

	ABSTANDSAUFLAGEN				GEWÄSSERRANDSTREIFEN (GWR)		
Gesetzliche Grundlage	Pflanzenschutzmittel-aufgaben § 38 Abs. 1 Satz 1 PflSchG	Pufferstreifen an Gewässern (GLÖZ 4) § 15 GAP-KondV	Düngung § 5 Düngungsverordnung in gelben Gebieten i.V.m. § 2 Abs. 2 WHG	Pflanzenschutz § 4a Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung	Wasserrecht § 38a WHG	Volksbegehren Art. 21 BayWG	Art. 18 BayNatSchG
Betroffene Gewässer/Flächen	Fläche an ständig und an periodisch wasserführenden Oberflächengewässern (OW)	LF angrenzend an Gewässer	Fläche angrenzend an oberirdisches Gewässer	Fläche angrenzend an Gewässer	LF mit $\geq 5\%$ Hangneigung 20 m zum Gewässer	Grundstücke des Freistaates Bayern an Gewässern 1. und 2. Ordnung	Grundstücke an natürlichen oder naturnahen Gewässern
Verhaltenspflicht	Gebot: Einhaltung der Abstände an Gewässern z. B. Mindestabstände, abdriftmindernde Maßnahmen, Hangauflagen	Verbot: Anwendung von Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln und Bioziden	Gebot: Einhaltung von Gewässerrandstreifen beim Einsatz von Düngemitteln Besondere Vorgaben an die Ausbringung von Düngemitteln auf Ackerflächen mit Hangneigung beachten § 5 Abs. 3 Satz 2 und 3 DüV	Verbot: Anwendung von PSM im Abstand von 10 m Alternativ: 5 m geschlossene, ganzjährig begrünte Pflanzendecke	Gebot: Erhaltung oder Herstellung einer geschlossenen, ganzjährig begrünten Pflanzendecke	Verbot: garten- oder ackerbauliche Nutzung Einsatz und Lagerung von Düngemitteln und PSM (ausgenommen Wundverschluss- und Wildblütenmittel) Gebot: Grundsätzlich Erhaltung von Bäumen und Sträuchern	Verbot: garten- oder ackerbauliche Nutzung
Gemessen ab	Böschungsoberkante ggf. Linie des Mittelwasserstands				Böschungsoberkante ggf. Uferlinie = Linie Mittelwasserstand		Uferlinie = Linie Mittelwasserstand
Mindestbreite	Nach Auflagen	3 m	Nach Ausbringungstechnik und ggf. Hangneigung	5 m/10 m	5 m	10 m	5 m
Zusätzliche Infos		Aber Vorsicht: Ein direkter Eintrag oder der Eintrag durch Abschwemmung von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln ist verboten! Dies gilt für alle oberirdischen Gewässer!				Grünlandnutzung auf dem GWR erlaubt: GWR-Kulturbau im Umweltatlas Bayern	

Rechtsnormen im Bereich des Gewässerschutzes

Europäische Richtlinien

[Wasserrahmenrichtlinie \(Richtlinie 2000/60/EG\)](#)

[UQN-Richtlinie \(Richtlinie 2008/105/EG\)](#)

[Grundwasserrichtlinie \(Richtlinie 2006/118/EG\)](#)

Nationale und Bayerische Gesetzgebung

[Wasserhaushaltsgesetz \(WHG\)](#)

[Bayerisches Wassergesetz \(BayWG\)](#)

[Grundwasserverordnung \(GrwV\)](#)

[Oberflächengewässerverordnung \(OGewV\)](#)

Rechtsnormen für die Lagerung von Pflanzenschutzmitteln im landwirtschaftlichen Betrieb

- [Wasserhaushaltsgesetz \(WHG\)](#)
- [Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen \(AwSV\)](#)
- [Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern \(TRGS 510\)](#)
- Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen - [Gefahrstoffverordnung \(GefStoffV\)](#)
- [Betriebssicherheitsverordnung \(BetrSichV\)](#)
- [Löschwasser Rückhalte Richtlinie \(LöRüRL\)](#)
- [Bundesimmissionsschutzgesetz \(BimSchG\)](#)

Anhang 3: Auffangbecken, Versickerungs- und Begleitmulden, einfach umsetzbare Beispiele

GELÄNDEMODELLIERUNG ZUR VERSICKERUNG



Entlang dieser leicht gekuppten Grünlandflächen floss Regenwasser in einem Graben schnell ab. Geringe Erdbewegungen schafften eine Mulde – flach genug, dass sie immer noch mit der vorhandenen Technik bewirtschaftet werden kann – in der Wasser auf der Fläche verbleibt. Mit der Zeit sickert es in Richtung Vorfluter, wobei der Bodenfilter es reinigt. Der für die Erdbewegung nötige kurzfristige Grünlandumbruch war vom AELF genehmigt. Der Zufluss ist gestaltbar, so dass z. B. nicht jeder Abfluss in der Fläche landet, sondern ein Teil im Graben abfließen kann. Durchführung z. B. durch den Landwirt mit finanzieller Unterstützung der Gemeinde. © Bayerische Verwaltung für Ländliche Entwicklung

ABFLUSSBAHNEN BREMSEND GESTALTET



Begrünte Abflussbahnen müssen nicht unbedingt diagonal durch den Acker verlaufen. Mit ein wenig Geländemodellierung kann der Abfluss z. B. in ein Vorgewende einer Dauerkultur (hier Hopfen) umgeleitet werden. Dessen Muldenform kann so sanft ausgeprägt sein, dass sie die Bewirtschaftung nicht beeinträchtigt. Dabei gilt sogar: Je breiter, desto größer die Bremswirkung. Allerdings ist bei einer rein aus Gräsern bestehenden Begrünung die Ausfilterwirkung begrenzt: Wenn die Grashalme sich umlegen, bieten sie wenig Rauigkeit. © Felix Schmitt, Büro h&s

AUSLEITUNGEN IN ACKERFLÄCHE – VERSICKERUNG



Findige Idee des Landwirts: Mit geringer Geländemodellierung entlang und im Graben wird an mehreren Stellen Wasser aus dem Graben (ein Mindestabfluss verbleibt, auch damit die Fläche nicht ständig beaufschlagt wird) auf den Acker und mehrere Meter weit in ihn hineingeleitet. Um Erosion an den Übertrittsstellen zu vermeiden, wurde parallel zum Graben ein (KULAP-) Streifen dauerhaft begrünt. © Bayerische Verwaltung für Ländliche Entwicklung/Felix Schmitt

AUSLEITUNG IN GRÜNLAND bzw. ÖDFLÄCHE – VERRIESELUNG



Auch wo Wasser bereits konzentriert fließt, kann der Abfluss also nochmal aufgeweitet werden. Hier wurde ein Sammelrohr geöffnet und das Wasser breit über eine Auenfläche (Grünland) verrieselt. Der Bewuchs filtert Partikel aus und bremst das Wasser. Das funktioniert, Zufluss vorausgesetzt, auch an Böschungen und anderen Ödflächen.

© Bayerische Verwaltung für Ländliche Entwicklung

AUEN- bzw. GEWÄSSERRAND-MODELLIERUNG



Ausnutzen der gesamten Gewässerrandfläche: Durch leichte Modellierung verteilt sich das Wasser entlang dem Bach, um dann auf voller Feldlänge in ihn zu versickern. Die nötige Größe der Mulde ist abhängig von der Größe des Einzugsgebiets. Die Erhaltungspflege besteht darin, die Fläche zu mulchen, um Verbuschung zu verhindern. Da die Mulde häufiger als erwartet ansprang und länger Wasser darauf stand, kam es zur Vernässung der angrenzenden Nutzfläche – daher ist die Dimensionierung gut auf das Einzugsgebiet abzustimmen. Ggf. sollte nur ein Teil des ankommenden Wassers in den

Randstreifen geleitet werden. Die Wirkung besteht in der Verzögerung und Reinigung durch den Sickerprozess.

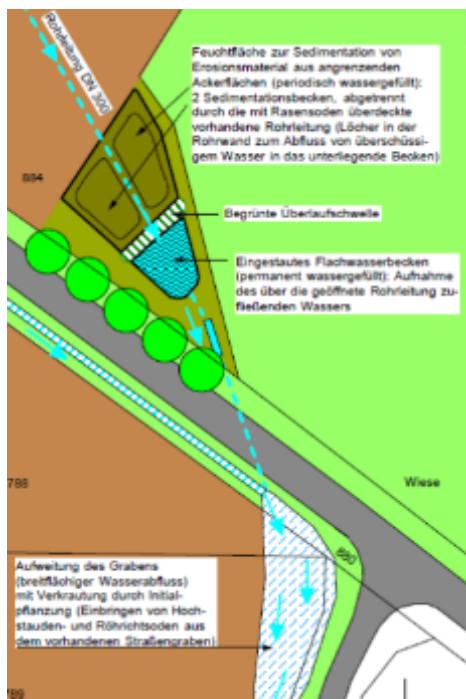
© Bayerische Verwaltung für Ländliche Entwicklung

PROTOTYP MIT MEHRFACHER WIRKUNG

Hier werden die Wirkungen Absetzen und Versickerung (Bodenfilter) kombiniert. Der Effekt dieser beispielhaften Kombi-Maßnahme ist bei dieser Größe begrenzt – dafür wurde sie komplett auf einer bisherigen „Brennselecke“ eingerichtet. In Becken wie diesen muss regelmäßig das abgesetzte Material geräumt werden – kann aber i.d.R. auf die Fläche zurückverbracht werden.



© Foto: Bayerische Verwaltung für Ländliche Entwicklung



1. Becken: Absetzen Oberflächenabfluss,
2. Becken: Versickerung Drainwasser.

Im Anschluss folgt eine verkräutete Feuchtfäche für die weitere Reinigung.

© Karte: Arge Lenz-Knogler-Karlstetter

Literaturverzeichnis

- [1] AID Infodienst (2013): Nitratauswaschung - Ursachen und Maßnahmen zur Minimierung
- [2] Argento, F.; Liebisch, F.; Anken, T.; Walter, A.; El Benni, N.: Investigating two solutions to balance revenues and N surplus in Swiss winter wheat. *Agricultural Systems* Vol. 201, 2022.
- [3] Balsari, P., et al. (2021): Empfehlungen zur Reduzierung der Abdrift bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln. Broschüre, online https://www.iva.de/sites/default/files/benutzer/%25uid/publikationen/lay_drift_advisorbook_d_050121.pdf
- [4] Bauer, F., et al. (2021): Gute fachliche Praxis zur Verringerung der Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln durch Run-off und Erosion. Broschüre, online https://www.iva.de/sites/default/files/benutzer/%25uid/publikationen/broschuere_run-off_topps.pdf
- [5] Brown, C., et al. (2020): Best Management Praktiken zur Verringerung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln durch Drainageabfluss und Versickerung in Gewässer. Broschüre, online https://www.iva.de/sites/default/files/benutzer/%25uid/publikationen/04ansicht_rz_book_dt_240420_web.pdf
- [6] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL): Übersichtsliste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland mit Informationen über beendete Zulassungen. Aktuelle Tabelle online https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_uebersichtsliste.html;jsessionid=2FDBA726CC379B82DF43DBEFEE814C66.internet942?nn=11032174
- [7] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE): Integrierter Pflanzenschutz. Broschüre, online <https://www.ble-medienservice.de/1032-7-integrierter-pflanzenschutz.html>
- [8] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE, 2022): Gute fachliche Praxis - Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. Broschüre, <https://www.ble-medienservice.de/3614-3-gute-fachliche-praxis-bodenbewirtschaftung-und-bodenschutz.html>
- [9] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Kulturpflanzen- oder sektorspezifische Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes. Online <https://www.nap-pflanzenschutz.de/integrierter-pflanzenschutz/leitlinien-ips>
- [10] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2020): Gefahrgutbeförderung in Pkw und in Kleintransportern. DGUV Information 213-012, online https://downloadcenter.bgrci.de/resource/downloadcenter/downloads/DGUV_Information_213-012.pdf
- [11] Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (2020): Lagerung von Pflanzenschutzmitteln auf dem landwirtschaftlichen Betrieb. DLG-Merkblatt 452, online <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/pflanzenbau/pflanzenschutz/dlg-merkblatt-452>
- [12] Die Landwirtschaft - Landwirtschaftlicher Pflanzenbau, BLV Buchverlag München, 13. Auflage 2014, ISBN 978-3-8354-0716-9.
- [13] Diepolder, M.; Raschbacher, S. (2008): Saubere Seen (Forschungsprojekt Schwarzach) 2002 – 2005, https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/saubere_seen.pdf

- [14] DLG (2014): *Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG, Band 199, 2. Auflage, Frankfurt, DLG-Verlag.*
- [15] DLG (2019): *DLG-Merkblatt 418 Leitfaden zur nachvollziehbaren Umsetzung stark N-/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen, 4. Überarbeitete Auflage 10/2019* https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_418.pdf
- [16] Düngefenster: <https://gws-nord.de/naehrstoffe.html>
- [17] Düngegesetz vom 9. Januar 2009 (BGBl. I S. 54, 136), das zuletzt durch Artikel 277 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist (DüngG).
- [18] European Crop Protection Association (2024): *Biologische Reinigungsverfahren für Spritzflüssigkeitsrückstände auf landwirtschaftlichen Betrieben. Broschüre, online* http://www.topps-life.org/uploads/8/0/0/3/8003583/topps_biopurification_systems_german.pdf
- [19] Gabriel, A., Gandorfer, M., Spykman, O.: *Nutzung und Hemmnisse digitaler Technologien in der Landwirtschaft – Sichtweisen aus der Praxis und in den Fachmedien. Berichte über Landwirtschaft, 2021.*
- [20] Gabriel, A.; Gandorfer, M.: *Adoption of digital technologies in agriculture — an inventory in a European small-scale farming region. Precision Agriculture, 1-24. DOI: 10.1007/s11119-022-09931-1, 2022.*
- [21] Gehring, K.: *Management zur Verminderung und Vermeidung von diffusen Herbizidausträgen durch Abschwemmung und Erosion in Oberflächengewässer. Julius Kühn-Archiv, 443, S. 387-395, 2014.*
- [22] Gustafson, D.: *Groundwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leachability. Environmental Toxicology and Chemistry, 8, p. 339-357, 1989.*
- [23] Hülsbergen, K.-J.; Maidl, F.-X.; Forster, F.; Prücklmaier, J.: *Minderung von Nitratausträgen in Trinkwassereinzugsgebieten durch optimiertes Stickstoffmanagement. Forschungsbericht, zuletzt aufgerufen am 23.05.2023, URL: https://www.lfu.bayern.de/wasser/gw_gefaehrderung_schutz/gwschutz_landwirtschaft/projekte_hohenthann/doc/tum_bericht_hohenthann.pdf, 2017*
- [24] Julius Kühn-Institut (2024): *Verzeichnis Verlustmindernde Geräte. Online <https://wissen.julius-kuehn.de/mediaPublic/AT-Dokumente/03-Abdrift/Verzeichnis-Verlustmindernde-Geraete.xlsx>*
- [25] Krieg, J., Patzelt, S., Bütfering, L., Cieljewski, H., Feldmann R. (2022): *Proteinreduzierte Fütterung und gezielte Aminosäureergänzung in Mastschweinerationen ab 70 kg: Einfluss auf Leistung und Emissionen. Forum angewandte Forschung 03./04.05.2022, Soest*
- [26] Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG, 2010): *Erosionsschutz in reliefbedingten Abflussbahnen Schriftenreihe, Heft 13/2010*
- [27] Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2024): *Vorsorgender Gewässerschutz - Terbutylazin-Verzichtsprogramm Jura-Karst in Bayern, <https://www.lfl.bayern.de/ips/pflanzenschutz/072301/index.php>*

- [28] Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, Gelbes Heft 2022, <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/031924/index.php>
- [29] Maidl, F.-X.: Voraussetzungen für eine sensorgesteuerte teilflächenspezifische N-Düngung. In: Informationstechnologie für eine nachhaltige Landwirtschaft. 32. GIL-Jahrestagung, S. 199-202, 2012.
- [30] Maidl, F.-X.; Kern, A.; Kimmelman, S.; Hülsbergen, K.-J.: Sensorgestützte teilflächenspezifische Stickstoffdüngung mit wissenschaftlich begründeten Algorithmen. Kongressband VDLUFA 2022.
- [31] Maidl, F.-X.; Spicker A.; Hülsbergen, K.-J.: Mit Sensoren die Bestände besser führen? Neue Techniken im Ackerbau. Schriftenreihe der LfL 7, ISSN 1611-4159, 2014.
- [32] Maidl, F.-X.; Spykman, O.; Vinzent, B.: Weniger Dünger, gleicher Ertrag. Top Agrar Südpfplus, S. 20-22, 10/2021.
- [33] Mittermayer, M; Maidl, F.X.; Nätscher, L.; Hülsbergen, K.J.: Analysis of site-specific N balances in heterogeneous croplands using digital methods. European Journal of Agronomy 133, 126442. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126442, 2022.
- [34] Prasuhn, V. (2011): Gülleabschwemmung von Graslandflächen – Versuchsergebnisse aus der Schweiz. In: Gülle 11 – Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland (Tagungsband), Elsässer, M. et al. (Hrsg.), S. 185-189.
- [35] Preißinger, W., Scherb, S., Rimbach, M. (2022): Phosphor- und stickstoffangepasste Fütterung von Mastschweinen – Umsetzung eines speziellen Fütterungskonzeptes. VDLUFA Schriftenreihe, 78, 354 – 361
- [36] Prücklmaier, J. (2020): Feldexperimentelle Analysen zur Ertragsbildung und Stickstoffeffizienz bei organisch-mineralischer Düngung auf heterogenen Standorten und Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung durch computer- und sensorgestützte Düngesysteme. Dissertation, Technische Universität München.
- [37] Schneider, M.; Wagner, P.: Ökonomische Effekte der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung auf betrieblicher Ebene. In: Werner, A. et al. (Hrsg.): pre agro II Abschlussbericht, Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg, S. 401-436, 2008.
- [38] Schneider, S., Preißinger, W. (2022): Futterverluste reduzieren. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, 8, 50 – 51
- [39] Schwertmann, U., Vogl, W., Kainz, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser
- [40] Seibert, S.; Auerswald, K. (2020): Hochwasserminderung im ländlichen Raum, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-61033-6>.
- [41] Spatial Business Integration: <https://www.solorrow.com> (URL), zuletzt aufgerufen am 04.04.2023.
- [42] Thünen Report 65, Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft (2019) https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_65.pdf

- [43] *Untersuchung unterschiedlicher Methoden zum mechanischen Abtöten von Zwischenfrüchten für erosionsmindernde Bestellverfahren von Mais zur Reduzierung des Einsatzes von Totalherbizide* https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/endbericht_terminierung_zwischenfr%C3%BCchte_2023.bf.pdf
- [44] *Verordnung über besondere Anforderungen an die Düngung und Erleichterungen bei der Düngung (Ausführungsverordnung Düngeverordnung – AVDüV) vom 22. Dezember 2020.*
- [45] *Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdüngern (Wirtschaftsdüngerverbringungsverordnung – WDüngV) vom 21. Juli 2010 (BGBl. I S. 1062), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 1 der Verordnung vom 28. April 2020 geändert worden ist.*
- [46] *Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung – StoffBilV) vom 14. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3942; 2018 I S. 360).*
- [47] *Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV) vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die zuletzt durch Artikel 97 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.*
- [48] *Vinzent, B.; Maidl, F.-X.; Gandorfer, M.: Analyse ausgewählter digitaler Lösungen zur N-Düngung. Referate der 43. GIL-Jahrestagung in Osnabrück, C. Hoffmann et al. (Hrsg.), S. 525-530, 2023.*
- [49] *Vinzent, B.; Maidl, M.; Münster, S.; Gandorfer, M. (2019): Überbetrieblicher Einsatz eines Sensorsystems zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. Referate der 39. GIL-Jahrestagung in Wien, A. Meyer-Aurich et al. (Hrsg.), S. 263-268.*
- [50] *Zhan et al (2010): Abbildung in https://gewaesserschutz-thueringen.de/wp-content/uploads/Diening_Gewaesserrandstreifenregelung_2019_10_28.pdf*

Informationen zu Düngung und Nährstoffhaushalt im Internet

Die Themenschwerpunkte im Bereich Düngung und Nährstoffhaushalt sind im Internet über die in Tabelle 33 genannten Webadressen abrufbar.

Tabelle 33: Wichtige Internetadressen im Bereich Düngung und Nährstoffhaushalt

Thema	Internetseite
Düngeverordnung (DüV) Erläuterungen und FAQs	www.lfl.bayern.de/duengeverordnung
Rote Gebiete, Gelbe Gebiete, Gebietskulisse, AVDüV	www.lfl.bayern.de/avduev www.lfl.bayern.de/rote-gebiete
Verbringungsverordnung (WDüngV), Erläuterungen, Formulare	www.lfl.bayern.de/verbringungsverordnung
Grenze 170 kg N/ha, Nährstoffanfall im Betrieb	www.lfl.bayern.de/170kkgrenze
Lagerkapazität für Gülle, Mist und Jauche	www.lfl.bayern.de/lagerkapazitaet
Lagerkapazität für Biogasgärrest, Nährstoffflüsse einer Biogasanlage	www.lfl.bayern.de/biogasrechner
Düngebedarfsermittlung - N_{min} - Werte, N-Simulation, Landkreiserträge	www.lfl.bayern.de/duengebedarfsermittlung
DSNOnline - Düngeberatungssystem Stickstoff	www.lfl.bayern.de/dsn
N_{min} Bodenuntersuchung	www.lfl.bayern.de/bodenprobenahme-nmin
Nährstoffbilanz - Stoffstrombilanz	www.lfl.bayern.de/naehrstoffbilanz
Gelbes Heft – Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland	www.lfl.bayern.de/gelbesheft
Basisdaten Kenngrößen und Werte für Berechnungen	www.lfl.bayern.de/basisdaten
Wasserrahmenrichtlinie, Gewässerschutz, Gewässerschutzberatung	www.lfl.bayern.de/wasserrahmenrichtlinie



Düngung – Überblick
www.lfl.bayern.de/duengung



EDV-Fachprogramme Düngung

Die verfügbaren EDV-Fachprogramme sind im Internet auch über die jeweiligen Themenseiten erreichbar.