TFXTF

89/2022

Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden?

Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln



TEXTE 89/2022

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3719 65 409 1 FB000800

Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden?

Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Abschlussbericht

von

Michael Klein Fraunhofer IME, 57392 Schmallenberg

Isabel O'Connor, Simon Spycher EBP Schweiz AG, CH-8702 Zollikon

Stefan Reichenberger, Stephan Sittig, Sebastian Multsch knoell Germany GmbH, 68163 Mannheim

Kai Thomas, Matthias Trapp RLP AgroScience, 67435 Neustadt/Weinstr

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau

Tel: +49 340-2103-0 Fax: +49 340-2103-2285 buergerservice@uba.de

Internet: <u>www.umweltbundesamt.de</u>

f/<u>umweltbundesamt.de</u>

/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Fraunhfofer IME Auf dem Aberg 1 57392 Schmallenberg

Abschlussdatum:

November 2021

Redaktion:

Fachgebiet IV 1.3-2 Dietlinde Großmann, Jens Flade, Dominique Türkowsky

Publikationen als pdf:

http://www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, August 2022

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Mit der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln können Risikominderungsmaßnahmen zum Schutz vor Einträgen der Pflanzenschutzmittel in Oberflächengewässer über Oberflächenabfluss (Runoff) festgesetzt werden. Ziel dieses Vorhabens war es, bestehende und potentielle Minderungsmaßnahmen hinsichtlich Reduktionsleistung, Praktikabilität und Kontrollierbarkeit zu bewerten und Vorschläge zu erarbeiten, wie geeignete Maßnahmen in der quantitativen Risikoabschätzung berücksichtigt werden können. Hierzu wurde in wissenschaftlicher Literatur, grauer Literatur und Beratungsunterlagen nach Minderungsmaßnahmen, die Pflanzenschutzmittel-Einträge durch Oberflächenabfluss und Erosion reduzieren könnten, recherchiert. Relevante Maßnahmen wurden in Befragungen von Fachleuten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit, derzeitigen Verbreitung und zukünftigem Verbreitungspotenzial bewertet. Die danach priorisierten Maßnahmen sind: Anlage von grasbewachsenen Filterstreifen, Direktsaat, Mulchsaat, verschiedene nichtwendende Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Anlage von Querdämmen auf dem Feld. Die Reduktionsleistung der priorisierten Maßnahmen wurde dann auf Basis von quantitativen Daten in verschiedenen publizierten Studien und mit Hilfe statistischer Methoden (z.B. Box- und Scatterplots oder multiple lineare Regressionen) ausgewertet. Dabei bestätigte sich die Einschätzung der befragten Fachleute, dass sowohl die Anlage von Filterstreifen (kulturunabhängig) aber auch Querdämmen (speziell für Kartoffeln) expositionsmindernd auf den Eintragspfad Runoff in Oberflächengewässer wirken und so sinnvolle Risikominderungsmaßnahmen darstellen. Bei den Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat zeigten die ausgewerteten Daten ausgesprochen variable Ergebnisse hinsichtlich der Reduktionswirkung auf Runoff, bei denen man den Erfolg einer Maßnahme nicht an der mittleren Effektgröße, dem Median, nachweisen konnte. Infolgedessen können im vorliegenden Bericht nur zwei Maßnahmen für eine Verwendung in der quantitativen Umweltexpositionsbewertung empfehlen: die Anlage von grasbewachsenen Filterstreifen am Feldrand und das Anlegen von Querdämmen auf dem Feld. Empfehlungen zur Berücksichtigung von weiteren bodenkonservierenden Maßnahmen im Feld (z.B. Mulchsaat, Direktsaat, Streifensaat) in der Umweltexpositionsabschätzung müssen aufgrund der lückenhaften Datenlage und nicht eindeutigen Ergebnisse ausbleiben. Ein unterstützendes Potential zu einer der empfohlenen Maßnahme wird diesen Maßnahmen dennoch zugesprochen.

Abstract: Subproject 1

Pflanzenschutzmitteln

Evaluation of the effectiveness of risk mitigation measures to reduce the load of pesticides into surface water bodies by run-off and soil erosion

When authorising pesticides, risk mitigation measures can be stipulated to protect surface waters from the entry of plant protection products. This project is analyzing risk mitigation measures reducing pesticide exposure of surface water due to runoff and erosion. Current and potential mitigation measures were investigated regarding their mitigation effectiveness, their practicability and controllability. The aim of the project was a recommendation how suitable mitigation measures can then be applied in the quantitative risk assessment for authorization of plant protection product. First, scientific and grey literature but also various advisory documents were searched for suitable risk mitigation measures that could reduce exposure of pesticides through surface runoff and erosion. Then, all relevant measures were evaluated in expert surveys with regard to their profitability, current distribution and dissemination potential. Measures, prioritized by the experts, are: vegetated filter strips, direct sowing, mulch sowing, various no tillage cultivation methods and the installation of micro dams in the field. The effectiveness of these prioritized measures to reduce runoff, erosion and pesticide load was evaluated on the basis of quantitative data in various published studies using different statistical methods (e.g. classification and regression trees and multiple linear regressions). This analysis confirmed the assessment of the experts that both the installation of vegetated filter strips (independent of the crop) and micro-dams (especially for potatoes) reduce pesticide exposure to surface waters by runoff and erosion and thus represent useful risk mitigation measures. In the case of no-tillage and direct sowing measures, the evaluated data showed extremely variable results, in which the success of a measure could not be proven by the mean effect size. As a result, for the implementation in quantitative environmental exposure assessment, an unrestrained recommendation can only be given for two methods: vegetated filter strips at the edge of the field and the micro-dams on the field. For the other soil conservation measures, it was difficult to quantify the effect of a single measure. This was mainly caused by the limited as well as heterogeneous experimental data. Hence no proposal for quantitative exposure assessment is given but these measures are proposed as supportive to the recommended measures.

Inhaltsverzeichnis

A	bbildun	sverzeichnis	10
Τā	Fabellenverzeichnis		
Α	bkürzun	gsverzeichnis und Glossar	18
Zι	ısamme	nfassung	20
Sι	ımmary		26
1.	Einle	itung	31
	1.1	Aktuelle Situation	31
	1.2	Ziele des Forschungsvorhabens	32
2	Risik	erche, Begriffsdefinitionen und Beschreibungen bestehender und potentieller ominderungsmaßnahmen zur Reduktion von Wirkstoffeinträgen in Gewässer über Runc Erosion	
	2.1	Einleitung	33
	2.2	Vorgehen	33
	2.2.1	Übersicht über bestehende und mögliche risikomindernde Maßnahmen	33
	2.2.2	Bewertung der Risikominderungsmaßnahmen bezüglich Akzeptanz und Kontrollierbarkeit	35
	2.3	Definition und Beschreibung bestehender und potenziell runoff-und erosionsmindernd Maßnahmen	
	2.3.1	Übersicht über risikomindernde Maßnahmen	36
	2.3.2	Begrifflichkeiten für vertieft untersuchte Maßnahmen	38
	2.3.2.1	Generelle Definitionen im Bereich konservierende Bodenbearbeitung	38
	2.3.2.2	Spezifische Kriterien zur Ausgestaltung von Mulchsaaten	41
	2.3.2.3	Qualitative Spezifikation der Maßnahme Anlage von Querdämmen	42
	2.3.3	Ausblick: Synergien mit mittel- und langfristigen Entwicklungen im Pflanzenbau	43
	2.4	Bewertung der Akzeptanz und der Kontrollierbarkeit der Maßnahmen	45
	2.4.1	Kriterien für die Bewertung der Akzeptanz von Maßnahmen	45
	2.4.2	Ergebnisse der Expertenbefragungen —Wirtschaftlichkeit, derzeitige Verbreitung und Verbreitungspotenzial	46
	2.4.2.1	Wirtschaftlichkeit	46
	2.4.2.2	Derzeitige Verbreitung	46
	2.4.2.3	Verbreitungspotenzial	46
	2.4.3	Herausforderungen und Erfolgsfaktoren für eine effektive Umsetzung	48
	2.4.4	Bewertung der Kontrollierbarkeit	49

	2.4.4.1	Auswertung der Expertenbewertung bzgl. Kontrollierbarkeit	49
	2.4.4.2	Möglichkeiten und Grenzen der Kontrollierbarkeit	49
3		ntifizierung der Reduktionsleistung der Maßnahmen und Eignung für die	
	Umv	veltexpositionsabschätzung	51
	3.1	Einleitung	51
	3.2	Erfassung der Datenlage zu bisher durchgeführten Versuchen im Bereich	
		risikomindernder Maßnahmen und den Bedingungen, unter denen die Versuche durchgeführt wurden	54
	3.3	Statistische Methoden	
	3.3.1	Grasbewachsene Filterstreifen (vegetated filter strip, VFS)	58
	3.3.1.1		
	3.3.1.2	Multiple lineare Regression (MLR)	61
	3.3.1.3	Box- und Scatterplots	63
	3.3.1.4	Auswertung der Filterstreifenvarianten	63
	3.3.2	Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung	63
	3.3.3	Querdämme auf dem Feld	66
	3.4	Ergebnisse der Quantifizierung der Wirksamkeit der Maßnahmen	67
	3.4.1	Grasbewachsene Filterstreifen (Vegetated Filter Strips, VFS)	67
	3.4.1.1	CART	67
	3.4.1.2	Multiple lineare Regression (MLR)	76
	3.4.1.3	Box- und Scatterplots	76
	3.4.1.4	Filterstreifenvarianten	82
	3.4.1.5	Schlussfolgerungen und Ausblick bezüglich grasbewachsene Filterstreifen (VFS)	84
	3.4.2	Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung	86
	3.4.2.1	Ergebnisse zur Verminderung von Runoff und Erosion (ohne Messung von PSM-	
		Transport)	86
	3.4.2.2	Ergebnisse zur ereignisbezogenen Verminderung von Runoff, Bodenabtrag und PSM-Austrag	02
	3.4.2.3		92
	3.4.2.3	Erosion	98
	3.4.2.4	Zusammenfassung bodenkonservierende Maßnahmen	107
	3.4.3	Querdämme auf dem Feld	. 110
	3.4.3.1	Verminderung von Runoff und Erosion durch Querdämme	110
	3.4.3.2	Reduktion des Wirkstoffaustrag durch Querdämme	111
	3.4.3.3	Schlussfolgerung für Querdämme (Micro-dams)	. 112

	3.5	Eignung der Maßnahmen für die Umweltexpositionsabschätzung im Rahmen der	
		Zulassung von Pflanzenschutzmitteln	114
	3.5.1	Grasbewachsene Filterstreifen (vegetated filter strip, VFS)	114
	3.5.2	Bodenkonservierende Maßnahmen	116
	3.5.3	Querdämme auf dem Feld	118
	3.6	Vorschläge zur praktischen Umsetzung der Maßnahmen in der quantitativen Umweltexpositionsabschätzung	119
	3.6.1	Grasbewachsene Filterstreifen	119
	3.6.2	Querdämme (Micro-dams) auf dem Feld	120
	3.6.3	Vorschläge für eine Kombination von Maßnahmen	120
4	Que	lenverzeichnis	122
Α	Anh	ang: Detailergebnisse zu der Recherche	127
	A.1	Übersicht RMM - Maßnahmen	127
	A.2	Protokolle der Experteninterviews	134
	A.2.1	Experte Schadstoffdynamik	134
	A.2.2	Experte Erosionsschutz, Runoffverminderung und landwirtschaftliche Beratung	138
	A.2.3	Experte Konservierende Bodenbearbeitung	142
	A.2.4	Experte Herbologie, landwirtschaftliche Beratung und Gewässerschutz	146
	A.2.5	Experte Pflanzenschutzdienst	150
В	Anh	ang: Ergänzende Informationen zu den Querdämmen	154
	B.1	Versuchsaufbau Querdämme auf dem Feld	154
	B.2	Reduktion des Oberflächenabflusses durch Querdämme	157
	B.3	Reduktion des Bodenabtrags (Erosion) durch Querdämme	166
С	Anh	ang: Detailergebnisse zu der quantitativen Auswertung	168
	C.1	Zusätzliche Tabellen und Abbildungen aus der Auswertung für VFS	171
	C.2	Weitere Ergebnisse der Auswertung der Plotdaten von Maetens et al. 2012	179
	C.3	Ergebnisse der Auswertung von Erlach (2005) als Boxplots	186
	C.4	Boxplots aus der Auswertung für Dönges (2012) & Fawcett et al. (1994)	192

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verschiedene Arten von Querdammen und die dazugehörigen
	Geräte. Oben: Querdamm im Kartoffelanbau und
	Querdammhäufler. Mitte und unten: Unterschiedlich
	gestaltete Mikrodammstrukturen für den Maisanbau. Mitte:
	angepasster Scheibenpflug (disc plough); unten: angepasste
	Rohrstabwalze (drum plough)43
Abbildung 2:	Bodenfächer zur Bestimmung des Bedeckungsgrades50
Abbildung 3:	Beziehung zwischen Niederschlag und Runoff für
	unterschiedliche Curve Numbers66
Abbildung 4:	Entscheidungsbaum für den besten CART-Run für ΔQ (relative
	Reduktion des gesamten Zuflusses (Run-on + Niederschlag)
	durch den VFS), Variante 1 (Q _i , V _i , E _i nicht normalisiert). An
	jeder Aufteilung (split) wird die unabhängige Variable
	dargestellt, anhand derer die Klassenaufteilung vorgenommen
	wurde. Für die endgültigen Klassen am unteren Ende des
	Baums sind der Klassenmittelwert und die Stichprobenzahl
	(absolut und auf 100 % normiert) angegeben71
Abbildung 5:	Scatterplot (gemessene vs. vorhergesagte Werte) für den
	besten CART-Run für ΔQ (relative Reduktion des gesamten
	Zuflusses (Run-on + Niederschlag) durch den VFS), Variante 1
	(Q_i , V_i , E_i nicht normalisiert). Die dargestellten Punkte sind
	diejenigen 30 % der Daten, die nicht für die Erzeugung des
	Entscheidungsbaums verwendet wurden72
Abbildung 6:	Entscheidungsbaum für den besten CART-Run für die
	Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔE ,
	Variante 173
Abbildung 7:	Scatterplot (gemessene vs. vorhergesagte Werte) für den
	besten CART-Run für die Reduktion der Fracht des erodierten
	Bodenmaterials ΔE , Variante 1. Die dargestellten Punkte sind
	diejenigen 30 % der Daten, die nicht für die Erzeugung des
	Entscheidungsbaums verwendet wurden74
Abbildung 8:	Scatterplot (gemessene vs. vorhergesagte Werte) für den
	besten CART-Run für die relative Reduktion der Wirkstoff-
	Fracht ΔP, Variante 1. Die dargestellten Punkte sind diejenigen
	30 % der Daten, die nicht für die Erzeugung des
	Entscheidungsbaums verwendet wurden75
Abbildung 9:	Boxplot aus Reichenberger et al. (2007) für die relative
	Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als Funktion der
	Filterstreifenbreite (VL)77

Abbildung 10:	Boxplot für die relative Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL). Die Breitenklassen sind
Abbildung 11:	0 - 2,5 m, > 2,5 - 5 m, >5 - 10 m, >10 - 20 m, und >20 m78 Boxplot für die relative Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔE als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL). Die Breitenklassen sind 0 – 2,5 m, >2,5 - 5 m, >5 - 10 m, >10 - 20 m, und >20 m
Abbildung 12:	Boxplot für die relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL) Die Breitenklassen sind 0 – 2,5 m, >2,5 - 5 m, >5 - 10 m, >10 - 20 m, und >20 m79
Abbildung 13:	Boxplot für die relative Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ als Funktion des auf die VFS-Fläche normierten Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag). Die Klassen sind 0 – 50 mm, >100 - 200 mm, >200 - 500 mm, >500 - 1000 mm, und >1000 m80
Abbildung 14:	Boxplot für die relative Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔE als Funktion des auf die VFS-Fläche normierten Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag). Die Klassen sind 0 – 50 mm, >100 - 200 mm, >200 - 500 mm, >500 - 1000 mm, und >1000 m81
Abbildung 15:	Boxplot für die relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als Funktion des auf die VFS-Fläche normierten Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag). Die Klassen sind 0 – 50 mm, >100 - 200 mm, >200 - 500 mm, >500 - 1000 mm, und >1000 m82
Abbildung 16:	Kumulativer Oberflächenabfluss in mm (L m ⁻² source area) aus den verschiedenen Filterstreifenvarianten (VFS) von Lecomte (1999) für die Saison 1996/1997 für die Ereignisse ohne Überlaufen der Auffanggefäße83
Abbildung 17:	Gemessene relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP vs. gefittete relative Reduktion der Wirkstofffracht (Sabbagh-und Chen-Gleichungen) und vorhergesagte relative Reduktion der Wirkstofffracht (Massenbilanzansatz) für den Testdatensatz aus Reichenberger et al. (2019) (n= 244)85
Abbildung 18:	Boxplot für das Verhältnis des jährlichen Runoff- Volumens mit Maßnahme zum Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff Ratio, RR) im Ackerbau86
Abbildung 19:	Boxplot für das Verhältnis des jährlichen Bodenabtrags mit Maßnahme zum Bodenabtrag ohne Maßnahme (Soil Loss Ratio, SLR) im Ackerbau87
Abbildung 20:	Scatterplot für jährliches Runoffvolumen (annual Runoff, Ra) und jährlichen Bodenabtrag (annual Soil Loss, SLa) im Ackerbau für die Maßnahmen "konservierende Bodenbearbeitung, nicht

	genau spezifiziert (oben)" und Mulchsaat (unten)
	(category_UBA) im Vergleich zur Kontrolle (wendende
	Bodenbearbeitung, conventional)90
Abbildung 21:	Scatterplot für jährliches Runoffvolumen (annual Runoff, Ra)
	und jährlichen Bodenabtrag (annual Soil Loss, SLa) im Ackerbau
	für die Maßnahmen Direktsaat (category_UBA) im Vergleich
	zur Kontrolle (wendende Bodenbearbeitung, conventional)91
Abbildung 22:	Scatterplot für jährliches Runoffvolumen (annual Runoff, Ra)
S	und jährlichen Bodenabtrag (annual Soil Loss, SLa) im Ackerbau
	für die Maßnahmen Konturbearbeitung (contour cropping,
	category_UBA) im Vergleich zur Kontrolle (wendende
	Bodenbearbeitung, conventional)91
Abbildung 23:	Scatterplot für jährliches Runoffvolumen (annual Runoff, Ra)
	und jährlichen Bodenabtrag (annual Soil Loss, SLa) im Ackerbau
	für die Maßnahmen Streifensaat (category_UBA) im Vergleich
	zur Kontrolle (wendende Bodenbearbeitung, conventional)92
Abbildung 24:	Boxplots der saisonalen Wirkstoffaustragsverhältnisse bei
7.00.10011 <u>6</u>	künstlichen Niederschlägen für Maßnahmen der
	konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat (nach
	Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)104
Abbildung 25:	Boxplots der saisonalen Wirkstoffaustragsverhältnisse bei
Abbildarig 25.	natürlichen Niederschlägen für Maßnahmen der
	konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat (nach
	Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)106
Abbildung 26:	Dimensionen und Form der Querdämme (Die Vergrößerung
Abbildulig 20.	zeigt die Draufsicht einer Vertiefung zwischen zwei
	Querdämmen)
Abbildung 27:	Becken (links) vs. Reservoirs (rechts). Schematische Abbildung.
Abbildulig 27.	
Abbildung 28:	Entscheidungsbaum für den besten CART-Run für ΔQ, Variante
Abbildulig 20.	3 (ohne Q _i ; V _i und E _i nicht normalisiert)
Abbildung 29:	Scatterplot (gemessene vs. vorhergesagte Werte) für den
Abbildulig 23.	besten CART-Run für ΔQ_i , Variante 3 (ohne Q_i ; V_i und E_i nicht
	normalisiert)
Abbildung 30:	Entscheidungsbaum für den besten CART-Run für ΔP, Variante
Abbildulig 50.	1
Abbildung 31:	Scatterplot für die relative Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ
Abbildulig 51.	als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL)174
Abbildung 32:	Scatterplot für die relative Reduktion der Fracht des erodierten
Applicating 32.	·
	Bodenmaterials ΔE als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL)
Abbildung 22:	Scatterplat für die relative Peduktion der Wirkstofffracht AP als
Abbildung 33:	Scatterplot für die relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als
	Funktion der Pufferstreifenbreite (VL)175

Abbildung 34:	Scatterplot für relative die Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ als Funktion des auf die VFS-Fläche normierten
	Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag)175
Abbildung 35:	Scatterplot für die relative Reduktion der Fracht des erodierten
	Bodenmaterials ΔE als Funktion des auf die VFS-Fläche
	normierten Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag)
	176
Abbildung 36:	Scatterplot für die relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als
J	Funktion des auf die VFS-Fläche normierten Gesamtzuflusses
	Qi_mm (Run-on + Niederschlag)176
Abbildung 37:	Scatterplot für a) für die Reduktion der Fracht des erodierten
0	Bodenmaterials ΔE und b) für die relative Reduktion der
	Wirkstofffracht ΔP als Funktion der relativen Reduktion des
	Gesamtzuflusses (ΔQ)
Abbildung 38:	Boxplot für das Verhältnis des jährlichen Runoff- Volumens mit
Abbildung 50.	Maßnahmen zum Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff
	Ratio, RR) im Weinbau als Funktion der Variable category_UBA
Abbildung 39:	Boxplot für das Verhältnis des Bodenabtrags s mit Maßnahmen
Abbildulig 55.	
	zum Bodenabtrag ohne Maßnahme (Soil Loss Ratio, RR) im
۸ ام	Weinbau als Funktion der Variable category_UBA180
Abbildung 40:	Boxplot für das Verhältnis des jährlichen Runoff- Volumens mit
	Maßnahmen zum Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff
	Ratio, RR) im Olivenbau als Funktion der Variable
	category_UBA181
Abbildung 41:	Boxplot für das Verhältnis des jährlichen Bodenabtrags mit
	Maßnahmen zum Bodenabtrag ohne Maßnahme (Soil Loss
	Ratio, RR) im Olivenbau als Funktion der Variable
	category_UBA181
Abbildung 42:	Scatterplot für annual Runoff (Ra) und annual Soil Loss (SLa) im
	Weinbau für die Maßnahmen Konturbearbeitung (oben) und
	"konservierende Bodenbearbeitung, nicht spezifiziert" (unten)
	(category_UBA)182
Abbildung 43:	Scatterplot für annual Runoff (Ra) und annual Soil Loss (SLa) im
	Weinbau für die Maßnahmen "keine Bodenbearbeitung (oben)
	und "Bodenbedeckung in Dauerkulturen erhöhen" (unten)
	(category_UBA_revised)183
Abbildung 44:	Scatterplot für annual Runoff (Ra) und annual Soil Loss (SLa) im
	Olivenbau für die Maßnahmen "keine Bodenbearbeitung
	(oben) und "Bodenbedeckung in Dauerkulturen erhöhen"
	(unten) (category_UBA_revised)184
Abbildung 45:	Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen
-	Oberflächenabflusses für die Pflugvariante186

Abbildung 46:	Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen
	Oberflächenabflusses für die Variante Mulchsaat186
Abbildung 47:	Boxplot des Verhältnisses des Oberflächenabflusses der
	Varianten Mulchsaat und Pflug nach Erlach (2005)187
Abbildung 48:	Boxplot der relativen Reduktion des Oberflächenabflusses
	durch die Variante Mulchsaat gegenüber der Pflugvariante
	nach Erlach (2005)187
Abbildung 49:	Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen Bodenabtrags für
_	die Pflugvariante188
Abbildung 50:	Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen Bodenabtrags für
	die Variante Mulchsaat188
Abbildung 51:	Boxplot des Verhältnisses des Bodenabtrags der Varianten
	Mulchsaat und Pflug nach Erlach (2005)189
Abbildung 52:	Boxplot der relativen Reduktion des Bodenabtrags durch die
	Variante Mulchsaat gegenüber der Pflugvariante nach Erlach
	(2005)189
Abbildung 53:	Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen PSM-Austrags für
	die Pflugvariante190
Abbildung 54:	Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen PSM-Austrags für
	die Variante Mulchsaat190
Abbildung 55:	Boxplot des Verhältnisses des PSM-Austrags der Varianten
	Mulchsaat und Pflug nach Erlach (2005)191
Abbildung 56:	Boxplot der relativen Reduktion des PSM-Austrags durch die
	Variante Mulchsaat gegenüber der Pflugvariante nach Erlach
	(2005)191
Abbildung 57:	Boxplots der Wirkstoffaustragverhältnisse bei künstlichen
	Niederschlägen für Maßnahmen der konservierenden
	Bodenbearbeitung (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)
	192
Abbildung 58:	Boxplots der Wirkstoffaustragverhältnisse bei natürlichen
	Niederschlägen für Maßnahmen der konservierenden
	Bodenbearbeitung (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)
Abbildung 59:	Boxplots der Wirkstoffaustragverhältnisse bei künstlichen
	Niederschlägen für Maßnahmen der Direktsaat (nach Dönges,
	2012 & Fawcett et al., 1994)194
Abbildung 60:	Boxplots der Wirkstoffaustragverhältnisse bei natürlichen
	Niederschlägen für Maßnahmen der Direktsaat (nach Dönges,
	2012 & Fawcett et al., 1994)195
Abbildung 61:	Boxplots der Wirkstoffaustragverhältnisse bei künstlichen
	Niederschlägen für Maßnahmen der Streifensaat (nach
	Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)196

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Priorisierung der RMM Maßnahmen für Runoff und Erosion37
Tabelle 2:	Übersicht der Bodenbearbeitungsverfahren39
Tabelle 3:	Beurteilung von Maßnahmen bezüglich Wirtschaftlichkeit,
	Kontrollierbarkeit, derzeitiger Verbreitung und
	Verbreitungspotenzial47
Tabelle 4:	Maße für die Vorhersagegüte der jeweils besten (bezogen auf
	die Vorhersagegüte mit den Parameter NSE) CART-Runs für VFS68
Tabelle 5:	Relative Wichtigkeit (%) der unabhängigen Variablen ¹⁾²⁾ für die
	Zielvariablen basierend auf den jeweils besten CART-Run
	(Erläuterung der Variablen siehe Kapitel 3.3.1). Grün
	hinterlegte Spalte zeigt Ergebnisse für die unabhängige
	Variable "Länge des Filterstreifens in Fließrichtung"
	(Filterstreifenbreite, VL_m)69
Tabelle 6:	Verhältnis des jährlichen Runoff-Volumens mit Maßnahme
	zum Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff Ratio, RR) und
	das Verhältnis des jährlichen Bodenabtrags mit Maßnahme
	zum Bodenabtrag ohne Maßnahme (Soil Loss Ratio, SLR) im
	Ackerbau89
Tabelle 7:	Gemessene Runoffvolumina aus Erlach (2005) und angepasste
	Curve Number für wendende Bodenbearbeitung (Pflug) und
	Mulchsaat94
Tabelle 8:	Gemessene Bodenabträge aus Erlach (2005) für wendende
	Bodenbearbeitung (Pflug) und Mulchsaat95
Tabelle 9:	Gemessene PSM-Austräge im Oberflächenabfluss (gelöst und
	partikelgebunden) aus Erlach (2005) für wendende
	Bodenbearbeitung (Pflug) und Mulchsaat in Mais (Vorauflauf)
	96
Tabelle 10:	Gemessene PSM-Austräge im Oberflächenabfluss (gelöst und
	partikelgebunden) aus Erlach (2005) für wendende
	Bodenbearbeitung (Pflug) und Mulchsaat in Winterweizen
	(Nachauflauf)97
Tabelle 11:	Gemessene PSM-Austräge im Oberflächenabfluss (gelöst und
	partikelgebunden) aus Erlach (2005) für wendende
	Bodenbearbeitung (Pflug) und Mulchsaat in Winterraps (früher
	Nachauflauf)97
Tabelle 12:	Übersicht der ausgewerteten konservierenden Maßnahmen in
	der Kategorie "künstliche Niederschläge"99
Tabelle 13:	Übersicht der ausgewerteten konservierenden Maßnahmen in
	der Kategorie "natürliche Niederschläge"101

Tabelle 14:	Übersicht der deskriptiven Statistik des Wirkstoffaustragsverhältnisses bei künstlichen Niederschlägen für Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)103
Tabelle 15:	Übersicht der deskriptiven Statistik des Wirkstoffaustragsverhältnisses bei <i>natürlichen Niederschlägen</i> für Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)105
Tabelle 16:	Übersicht der deskriptiven Statistik des Wirkstoffaustragsverhältnisses bei <i>natürlichen Niederschlägen</i> für Maßnahmen der Bandapplikation (nach Dönges, 2012)107
Tabelle 17:	Wirkstoff-Frachten in Oberflächenabfluss (Runoff) und erodiertem Sediment (Erosion) bezogen auf die Saison (aus Olivier et al. 2014, siehe Sittig at al. 2020a) und Reduktionseffizienzen der Querdämme in Kartoffeln111
Tabelle 18:	Gesamtfrachten verschiedener Wirkstoffe in Oberflächenabfluss (Runoff) und erodiertem Sediment (Erosion) bezogen auf die Saison aus Goffart et al. 2013, siehe Sittig et al. 2020a) und Reduktionseffizienzen der Querdämme in Kartoffeln
Tabelle 19:	Übersicht über die untersuchten risikomindernden Maßnahmen mit Angabe, ob qualitative oder quantitative vertiefte Untersuchung vorgenommen wurde127
Tabelle 20:	Beschreibung der von Sittig et al. (2020a) ausgewerteten Querdamm-Studien154
Tabelle 21:	Gemessener Oberflächenabfluss und angepasste Curve Numbers in den von Sittig et al. (2020) untersuchten Studien für Kartoffelkulturen
Tabelle 22:	Gemessener Oberflächenabfluss aus Goffart et al. (2013), summiert über die gesamte Anbauperiode in der Kartoffel. Quelle: Sittig et al. (2020)
Tabelle 23:	Gemessener Oberflächenabfluss in Mais aus Sui et al. (2016), summiert über jeweils einen Versuchsmonat (Querdamm ähnelt dem in der Kartoffel)
Tabelle 24:	Gemessener Runoff aus Sui et al. (2016) und angepasste Curve Number für vier einzelne Events und drei Querdamm-Varianten Versuchsjahr 2012)
Tabelle 25:	Berechnete Curve Numbers in Abhängigkeit vom Bewässerungsereignis für Keshavarz et al. (2020)163
Tabelle 26:	Effekt von Querdamm auf Runoff, Bodenabtrag und berechnete Curve Number bei wendender Bodenbearbeitung und Streifensaat (Truman und Nuti, 2010)164

Tabelle 27:	Gemessene Runoff-Koeffizienten von verschiedenen
	Beregnungs- und Bodenbearbeitungssystemen. Quelle: Silva
	(2017; Tabelle 1, vereinfacht)165
Tabelle 28:	Gemessener Bodenabtrag in den von Sittig et al. (2020)
	untersuchten Studien für Kartoffeln bei einer Hangneigung von
	>3 % und einem sandigen Lehm (Originalstelle Olivier et al.
	2014)166
Tabelle 29:	Gemessener Bodenabtrag in den von Sittig et al. (2020)
	untersuchten Studien für Kartoffeln bei Hangneigungen <3 %
	und >3 % und einem Loessboden (Originalstelle Goffart et al.
	(2013))
Tabelle 30:	Gemessener Bodenabtrag in den von Sittig et al. (2020)
	untersuchten Studien für Kartoffeln bei Hangneigungen 2-10 $\%$
	(Aurbacher et al. (2010))167
Tabelle 31:	Gemessener Bodenabtrag aus Sui et al. (2016), summiert über
	jeweils einen Versuchsmonat167
Tabelle 32:	Fachbegriffe für Maßnahmen zur Runoff- und
	Erosionsminderung durch A: Bodenbearbeitungs- und
	Aussaatverfahren, B: Fruchtfolgegestaltung und
	Bodenbedeckung und C: Anbau- und Applikationstechnik wie in
	diesem Bericht verwendet169
Tabelle 33:	Übersicht über die besten multiplen Regressionen178
Tabelle 34:	Verteilungen des Verhältnisses des jährlichen Runoff-
	Volumens mit Maßnahmen zum Runoff-Volumen ohne
	Maßnahme (Runoff Ratio, RR) und des Verhältnisses des
	jährlichen Bodenabtrags mit Maßnahmen zum Bodenabtrag
	ohne Maßnahme (Soil Loss Ratio, SLR) fuer verschiedene
	Kombinationen aus Landnutzungstyp und Maßnahmentyp
	(category_UBA)185

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

Abkürzung	Bedeutung
BAFU	Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wasser, CH-3003 Bern
BKA5	Bodenkundliche Kartieranleitung
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft, CH-3003 Bern
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
CART	Classification and Regression Trees
CART	Curve Number
DREAM	
	DiffeRential Evolution Adaptive Metropolis
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
MAgPIE	Mitigating the Risks of Plant Protection Products in the Environment
MLR	Multiple Linear Regression
NAP	Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln
NSE	Nash-Sutcliffe Efficiency
ОМ	Organic Matter (Humus)
PBIAS	percentage bias
PELMO	Pesticide Leaching Model
PRZM	Pesticide Root Zone Model
PSM	Pflanzenschutzmittel
r ²	squared Pearson product-moment correlation coefficient
R ²	Bestimmtheitsmaß
RMM	Risikomindernde Maßnahme
RMSEP	Root Mean Square Error of Prediction
rPART	Recursive Partitioning and Regression Trees
Runoff	Auch Oberflächenabfluss. Im Zusammenhang mit Expositionsmodellierung: Wasserfluss auf der Bodenoberfläche und damit verbundener Transport von gelöstem PSM-Wirkstoff
SWCT	Soil and Water Conservation Techniques (bodenkonservierende Maßnahmen im Feld)
TOPPS	Train Operators to Promote best management Practices & Sustainability
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UH	für <i>Unit Hydrograph</i> . Computerprogramm, mit dem aus einem gegebenen Niederschlagsregime synthetische Niederschlagshydrographen und Runoff-Hydrographen erzeugen können
USDA	Landwirtschaftsministerium der Vereinigten Staaten
USLEP	The universal soil loss equation (P) practice factor
VFS	vegetative filter strip, grasbewachsener Filterstreifen
VL	Pufferstreifenbreite = Länge des VFS in Fließrichtung
ΔΕ	relative Reduktion der Fracht erodierten Bodenmaterials durch den VFS (%)
ΔΡ	relative Reduktion der PSM-Fracht durch den VFS (%)

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Abkürzung	Bedeutung
ΔQ	relative Reduktion des Gesamtzuflusses (Run-on + Niederschlag) durch den VFS (%)
ΔR	relative Reduktion des einströmenden Runoffvolumens (Run-on) durch den VFS (%)

Zusammenfassung

Bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln können Risikominderungsmaßnahmen festgesetzt werden, um möglichen negativen Auswirkungen auf die Umwelt und das Grundwasser bei Anwendung des Pflanzenschutzmittels entgegenzutreten. Zum Schutz von Gewässern haben die Minderungsmaßnahmen den Zweck, den Eintrag von Pflanzenschutzmittel in angrenzende Gewässer bei oder infolge deren Anwendung zu reduzieren. Ohne Berücksichtigung der angenommenen Reduktionsleistung dieser Maßnahmen würden viele Pflanzenschutzmittel die Zulassungskriterien zum Schutz der Umwelt nicht erfüllen, eine Zulassung wäre dann nicht möglich. Die Reduktionsleistung einer Risikominderungsmaßnahme ist daher ein entscheidender Faktor im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel. Eine überschätzte Reduktionsleistung bzw. eine fehlerhaft eingestellte Wirksamkeit einer Maßnahme in der Umweltrisikobewertung können folglich bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt führen.

Dieses Projekt konzentriert sich auf Risikominderungsmaßnahmen zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteleinträgen in Gewässer über Oberflächenabfluss (Runoff) und Erosion. Ziel dieses Projekts war es, für diese Eintragspfade alle für eine Umsetzung in Deutschland in Frage kommenden Minderungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Reduktionsleistungen, ihrer Praktikabilität und Kontrollierbarkeit zu bewerten. Auf dieser Basis sollten Vorschläge erarbeitet werden, ob und wie geeignete Maßnahmen in die quantitative Umweltexpositionsabschätzung in der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln einbezogen werden können, um das das Risikomanagement insgesamt zu optimieren

Bewertung bestehender und möglicher Risikominderungsmaßnahmen

Schritt 1 - Literaturrecherche: Zunächst wurden wissenschaftliche Literatur, graue Literatur und Beratungsunterlagen auf verschiedene Maßnahmen zur Reduktion von Pflanzenschutzmittel-Einträgen durch Runoff und Erosion durchsucht. Dabei wurden insgesamt 42 Maßnahmen zusammengestellt.

Schritt 2 - Priorisierung der Maßnahmen: Für eine erste grobe Vorauswahl wurden die in Schritt 1 zusammengestellten Maßnahmen durch das Projektteam systematisch nach eingeschätzter Wirksamkeit, Praxisnähe und Relevanz im Sinne der Verwendung als Risikominderungsmaßnahme im Zulassungsverfahren eingestuft. Die Priorisierung führte zu den folgenden Maßnahmen, die in den nachfolgenden Schritten weiter betrachtet wurden:

- ► Filterstreifen (im Feld), Talwegpuffer (im Feld), Uferstreifen, Talwegpuffer (außerhalb des Felds), Filterstreifen am Feldrand
- ▶ Direktsaat, Streifensaat, geringe Bodenbehandlungsintensität, Konturbearbeitung, Planung und Ausrichtung von Fahrgassen, tiefwurzelnde Zwischenkulturen, Zwischenfrucht, Mulchsaat, Streifenanbau, Untersaat
- Anlage von Querdämmen in Dammkulturen

Schritt 3 – Genauere Definition der Maßnahmen: Im Rahmen von Experteninterviews (vgl. Schritt 5 für Details) wurde für ausgewählte Maßnahmen erfragt, ob und wie die Maßnahme genauer definiert werden müssten, um die erwünschte Wirksamkeit gewährleisten zu können. Die Erkenntnisse werden Kapitel 2.3.2 übergreifend beschrieben.

Schritt 4 - Kriterien für die Akzeptanz der Maßnahmen: Es wurden Kriterien definiert, wie die Aspekte der Akzeptanz am besten greifbar und beurteilbar gemacht werden können.

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Schritt 5 - Bewertung der Maßnahmen: Für die praxisnahe Bewertung der Maßnahmen wurden fünf anerkannte Fachleute aus Wissenschaft und landwirtschaftlicher Beratung mit verschiedenen Perspektiven auf die Thematik (Schadstoffdynamik, Erosionsschutz, Runoff-Verminderung, konservierende Bodenbearbeitung, Gewässerschutz, Pflanzenschutz) ausgewählt und befragt. Für die Befragung wurde auf leitfadengestützte Interviews mit übergreifenden Fragen zum Thema (Anhang A.2) und einer semiquantitativen Bewertung der priorisierten Maßnahmen nach Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit, Kontrollierbarkeit, derzeitiger Verbreitung und Verbreitungspotenzial (siehe Tabelle 3 in Kapitel 2.4) zurückgegriffen.

Es bildeten sich drei Gruppen von Maßnahmen heraus, die dann im Mittelpunkt der quantitativen Bewertung standen: grasbewachsene Filterstreifen, Maßnahmen im Bereich der konservierenden Bodenbearbeitung und das Anlegen von Querdämmen auf dem Feld. Das Anlegen von grasbewachsenen Filterstreifen wurde von den Fachleuten als wirtschaftlich neutral oder unrentabel, leicht zu kontrollieren und mit hohem Verbreitungspotential eingestuft, wobei jenach Art oder Ausgestaltung des Filterstreifens erhebliche Abweichungen in der Einschätzung der Fachleute auftraten. Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat wurden wirtschaftlich neutral bis rentabel, in Bezug auf die Kontrollierbarkeit positiv eingestuft und je nach Art der Bodenbearbeitung mit einem unterschiedlichem Verbreitungspotential verbunden. Querdämme auf dem Feld wurden als wirtschaftlich neutral, gut kontrollierbar beurteilt. Aufgrund der kulturspezifischen Verwendung (Kartoffel), ist das Verbreitungspotential nach Ansicht der Fachleute gering.

Quantitative Auswertung der Reduktionsleistung

Die Reduktionsleistung der Maßnahmen wurde mit Hilfe verschiedener statistischer Verfahren analysiert. Die zugrundeliegenden Daten stammten aus publizierten Reviews und deren Zusammenstellungen von Testdaten und einzelnen aktuellen Studien. Die Auswertung erfolgte mittels Box- und Scatterplots, Classification and Regression Trees (CART) und multipler linearer Regression (MLR). Dabei wurden folgende zuvor von den Fachleuten als sinnvoll eingestufte Maßnahmen einbezogen (fett markiert in Tabelle 3 in Kapitel 2.4):

- Anlage von grasbewachsenen Filterstreifen (Vegetated Filter Strips, VFS) außerhalb des Feldes
- 2. Durchführung von verschiedenen bodenkonservierenden Maßnahmen im Feld
- 3. Anlage von Querdämmen (Micro-dams) auf dem Feld

Hinsichtlich der Quantifizierung der Reduktionsleistung der einzelnen Maßnahmen wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Grasbewachsenen Filterstreifen

Die Anlage von grasbewachsenen Filterstreifen gehört zu den klassischen Risikominderungsmaßnahmen zur Reduktion des Eintrages von Pflanzenschutzmitteln in benachbarte Gewässer über Runoff (Oberflächenabfluss) und Erosion. Für die Analyse der Reduktionsleistung eines grasbewachsenen Filterstreifens liegt ein umfangreicher Datensatz (n = 244) mit ereignisbezogenen Daten zum Volumen des Oberflächenabflusses, zur Fracht des erodierten Bodenmaterials und zum Wirkstoffaustrag vor. Die Auswertung konzentrierte sich auf die Frage, wie die Reduktionsleistung in Abhängigkeit verschiedener unabhängiger Studienparameter (z.B. Niederschlag, Bodeneigenschaften, Breite des Randstreifens) vorhergesagt werden kann. Die Reduktionsleistung bezog sich auf drei entscheidende Zielvariablen

- 1. Reduktion des Gesamtzuflusses (Oberflächenabfluss aus dem Feld + Niederschlag auf den Filterstreifen) ΔQ ,
- 2. Reduktion des erodieren Bodenmaterials (Erosionsereignis) ΔE sowie
- 3. Reduktion des Wirkstoffaustrags aus dem Feld ΔP .

Folgende Schlussfolgerungen wurden hinsichtlich dieser Parameter gezogen:

- Die Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ lässt sich anhand unabhängiger Parameter (z.B. einströmendes Oberflächenabflussvolumen (Run-on), Niederschlag, organische Bodensubstanz und Tongehalt des Feldes, Breite des Randstreifens) mäßig gut statistisch vorhersagen.
- Die Vorhersage der Reduktion des erodierten Bodenmaterials ΔE anhand der unabhängigen Parameter mit Hilfe statistischer Verfahren ist qualitativ schlecht. Zur Berechnung der Reduktion der Erosion ΔE ist als Voraussetzung die Kenntnis über die Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ erforderlich.
- Nur wenn die Reduktionseffizienz des Gesamtzuflusses ΔQ und des Erosionsereignisses ΔE vorliegen, lässt sich die Abnahme des Wirkstoffaustrags ΔP mit statistischen Methoden gut berechnen. Allerdings pflanzen sich Unsicherheiten der Vorhersagen des Gesamtzuflusses ΔQ und des Erosionsereignisses ΔE zum Wirkstoffaustrag ΔP fort.

Für die Frage der Einstellung eines grasbewachsenen Filterstreifens als expositionsmindernde Maßnahme in der quantitativen Risikobewertung ergibt sich, dass ein fixer Reduktionsfaktor in Abhängigkeit einer bestimmten Variablen aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren und der Nichtlinearität der Prozesse nicht sinnvoll ist. So ist derzeit in der Umweltrisikobewertung entsprechend FOCUS (2007) die Wirkstoffreduktion an die Breite des Filterstreifens geknüpft. Ein Filterstreifen von 10 m Breite führt zu einer Reduktion von 60 % des Oberflächenabflusses und 85 % der Fracht erodierten Bodenmaterials und der jeweils darin enthaltenen Wirkstoffanteile. Allerdings zeigte die nun vorliegende statistische Auswertung, dass die Filterstreifenbreite nicht zur Vorhersage von Reduktion des Gesamtzuflusses (Oberflächenabfluss + Niederschlag auf den VFS) ΔQ , der Fracht erodierten Bodenmaterials ΔE sowie der Reduktion des Wirkstoffaustrags ΔP geeignet ist.

Vielmehr ist eine mechanistische Modellierung von Infiltration und Sedimentation im Filterstreifen Voraussetzung für eine Einschätzung der Reduktionsleistung des bewachsenen Filterstreifens und damit für eine Verwendung als Risikominderungsmaßnahme in der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln. Sie erlaubt die Berechnung der Reduktionswirkung des Filterstreifens in Abhängigkeit des Niederschlages, der Bodeneigenschaften, der Dimensionen und der Hangneigung des Filterstreifens und der individuellen Bodenfeuchtebedingungen im Filterstreifen zum Zeitpunkt des Runoffereignisses. Das kann zum Beispiel mit dem Programm VFSMOD erfolgen. Eine reine statistische Analyse kann keine belastbare quantitative Reduktionsleistung herleiten.

Durchführung bodenkonservierender Maßnahmen im Feld

Die Auswertung der Reduktionsleistung zeigte variable Ergebnisse für **Mulchsaat**. Diese führte in einigen Fällen zu einer Verringerung, in anderen hingegen zu einer leichten Erhöhung des Oberflächenabflusses bzw. zu einer deutlichen Reduktion oder keinem Effekt auf den Bodenabtrag. Daten zur Reduktion des Wirkstoffaustrages sind mit einer Studie nur limitiert vorhanden, die bei einer Bodenbedeckung von >30 % vielversprechende Reduktion für Oberflächenabfluss, Erosion und Wirkstofffracht zeigte. Aufgrund der Heterogenität sowohl der

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

vorliegenden Studien als auch der daraus ableitbaren Ergebnisse, die sich teilweise aus nicht ausreichender oder nicht dokumentierter Bodenbedeckung und unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der Wirkstoffe ergeben, kann Mulchsaat ohne präzisere Spezifikation einer minimalen Bodenbedeckung nicht als Maßnahme zur Reduktion des Pflanzenschutzmittel-Austrags über Runoff empfohlen werden.

Direktsaat zeigte einen klaren Reduktionseffekt in Bezug auf Erosion und Oberflächenabflussvolumina insbesondere bei hohen Niederschlägen. Insgesamt stellt die Direktsaat eine sinnvolle Maßnahme zur Reduktion des Pflanzenschutzmittel-Austrags über Runoff dar. Es wird jedoch empfohlen, zunächst den vereinzelt beobachteten erhöhten Austrag durch Leaching und Drainage zu klären, der auf präferentielle Fließwege und einen erhöhten Einsatz von Herbiziden zurückzuführen sein könnte.

Grundsätzlich erweist sich **Konturbearbeitung** als sehr effektiv gegen Oberflächenabfluss und Erosion. Dennoch ist eine Empfehlung dieser Maßnahme angesichts der geringen Anzahl von Studien und der darin enthaltenen unklaren Methodenbeschreibung als expositionsmindernde Maßnahmen nicht möglich.

Die **Streifensaat** zeigte eine große Reduktionswirkung auf den Wirkstoffaustrag und besitzt deshalb ebenfalls ein beträchtliches Potential zur Expositionsminderung. Allerdings lagen zur dieser Anbauform nur vier Studienergebnisse vor, so dass zum jetzigen Zeitpunkt daraus keine Empfehlung für einen Einsatz als Risikominderungsmaßnahme gegeben wird.

Insgesamt zeigte die Auswertung, dass die quantitative Reduktionswirkung bodenkonservierender Maßnahmen auf Oberflächenabfluss, Erosion und Wirkstoffaustrag deutlich schwieriger abzuleiten ist, als für grasbewachsene Filterstreifen. Dies liegt einerseits daran, dass selten bis gar keine ereignisbezogenen Studien vorlegen. Außerdem enthielten die verfügbaren Studien selten Informationen, wie die Maßnahme im Detail ausgeführt wurde. Andererseits war die gemessene Reduktionsleistung der Maßnahmen in Bezug auf Runoff, Erosion und Wirkstoffaustrag sehr heterogen. Damit können weder erforderliche Kriterien für die Durchführung eine Maßnahme noch eine daran gekoppelte Reduktionsleistung, die dann expositionsmindern in die Umweltrisikobewertung für den Eintragspfad Runoff eingestellt werden kann, abgeleitet werden.

Querdämme auf dem Feld

Die Verwendung von Querdämmen (Micro-dams) kann die Entstehung von Oberflächenabfluss vom Feld wesentlich verringern. Ebenso können Querdämme den Verlust von Bewässerungswasser durch Oberflächenabfluss erheblich reduzieren und so die Bewässerungseffizienz erhöhen. Allerdings ist diese Methode anders als klassische Risikominderungsmaßnahmen kulturabhängig, da eine entsprechende Technik zur Anlage der Querdämme verfügbar sein muss. Erfahrung mit Querdämmen hat man vor allem im Kartoffelanbau durch den Einsatz von Querdammhäuflern, die hier ausgewertet wurde. Es liegen jedoch auch Studien zur Wirkung von Querdämmen bei Mais mit ähnlichen Ergebnissen vor.

Da die Reduzierung des Oberflächenabflusses allgemein auch mit einer deutlichen Reduktion des Bodenabtrags verbunden ist, ist die Anlage von Querdämmen auch geeignet, Wirkstoffeinträge in Gewässer über die Sedimentphase zu reduzieren.

Quantitative Ergebnisse zur Reduktion des Wirkstoffaustrags wurden allerdings nur in zwei der hier vorliegenden Studien gemessen. Dabei betrug die über die verschiedenen Wirkstoffe gemittelte Reduktion des gesamten saisonalen Wirkstoffaustrages durch die Querdämme 91 bzw. 84 %. Dies veranschaulicht ebenfalls, dass die Maßnahme grundsätzlich geeignet ist, das

Risiko des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln über Oberflächenabfluss in Oberflächengewässer zu vermindern.

Vorschläge zur praktischen Umsetzung der Maßnahmen in der quantitativen Umweltexpositionsabschätzung

Nachdem zunächst die Reduktionsleistung verschiedener Maßnahmen in Bezug auf den Eintrag von Pflanzenschutzmittel in Gewässer durch Oberflächenabfluss und Erosion im Mittelpunkt stand, wird abschließend eine Übertragung der Ergebnisse in eine quantitativen Umweltexpositionsabschätzung diskutiert. Auf Basis der Auswertung der Reduktionsleistung einzelner zuvor als geeignet vorgestellten Maßnahmen können nur zwei der Maßnahmen als expositionsmindernd in die quantitative Risikobewertung bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln eingestellt werden:

- 1. Anlage von grasbewachsenen Filterstreifen (vegetated filter strips, VFS)
- 2. Anlage von Querdämmen (Micro-dams) auf dem Feld

Weiteren bodenkonservierenden Maßnahmen im Feld (z.B. Mulchsaat, Direktsaat, Streifensaat) werden nicht für eine quantitative Umweltexpositionsabschätzung empfohlen. Hier reicht die Datenlage nicht aus, um belastbare quantitative Größen hinsichtlich ihrer Reduktionsleistung abzuleiten. Dies begründet sich einerseits in der geringen Anzahl verfügbarer Studien, nicht ausreichender Dokumentation der Studienbedingungen und/oder Heterogenität der gemessenen Reduktionsleistung der Maßnahme.

Anlage von grasbewachsenen Filterstreifen

Die Auswertung mittels verschiedener statistischer Methoden zeigte, dass diese bekannte Maßnahme zur Risikominderung grundsätzlich sehr wirksam ist, aber es nicht gelingt, die gemessene Reduktionseffizienz allein auf Basis von statistischen Methoden zu beschreiben. Die Ursache dafür liegt in der Komplexität und Nichtlinearität der beteiligten Prozesse, insbesondere Infiltration und Sedimentation, auf die unter anderem der Gesamtzufluss (Niederschlag + Oberflächenabfluss vom Feld), die Fracht erodierten Bodenmaterials, der Feldboden (Textur, Gehalt an organischer Substanz), Fläche und Breite des Filterstreifens und der Zustand des Filterstreifens (Bewuchs, hydraulische Eigenschaften, Bodenfeuchte zu Beginn des Ereignisses) einen Einfluss haben. Daher ist auch ein einheitlicher Reduktionsfaktor für den Oberflächenabfluss, die Fracht des erodierten Bodenmaterials oder den Wirkstoffaustrag nicht sinnvoll.

Stattdessen sollte für zulassungsrelevante Fragen eine mechanistische Modellierung erfolgen, die die Reduktion in Abhängigkeit der Charakteristiken des Feldes, des Regenereignisses und des Filterstreifens berechnen kann. Bei diesen Berechnungen ist die mechanistische Modellierung von Infiltration und Sedimentation entscheidend. Aus der berechneten Reduktion des Gesamtzuflusses (Oberflächenabfluss + Niederschlag auf den Filterstreifen) und der Fracht erodierten Bodenmaterials durch den Filterstreifen kann dann mittels sog. *pesticide trapping equations* die Reduktion des Wirkstoffaustrages berechnet werden. Derzeit ist eine solche Modellierung im landwirtschaftlichen Kontext nur mit dem Modell VFSMOD möglich.

Querdämme (Micro-dams) auf dem Feld

Aus den vorliegenden Studien ist abzuleiten, dass die durch Querdämme zu erwartende Reduktion des Oberflächenabflusses, des Erosionsereignisses oder des Wirkstoffaustrages vom Bodenfeuchtestatus zu Beginn des Niederschlagsereignisses abhängen. Die Verwendung eines einheitlichen Reduktionsfaktors in der Expositionsbewertung ist daher ebenso wie bei den TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Filterstreifen nicht sinnvoll. Stattdessen wäre es ratsam, die Modellierung des Eintragspfades Runoff mit einem Computermodell wie z.B. PRZM durchzuführen. Das Modell sollte täglich den Wassergehalt im Boden berechnen und dadurch für jedes Runoffereignis eine sinnvolle Reduktion berechnen können, indem die Curve Number als Modellparameter für die Reduktion des Oberflächenabflusses durch die Maßnahme entsprechend angepasst wird. Dieser Ansatz ist im Modell PRZM, welches bereits im regulatorischen Kontext zur Expositionsbewertung von Pflanzenschutzmitteln für den Eintragspfad Runoff auf EU-Ebene verwendet wird, umgesetzt.

Die Curve Number zur Berücksichtigung der Querdämme in der Modellierung wäre grundsätzlich in Abhängigkeit von Boden und Kultur und damit Querdamm-Methode auszuwählen. Für die Kartoffel, bei der die Maßnahme bisher verwendet wurde, liegen Vorschläge zur Einstellung der Curve Number vor.

Eine fachlich korrekte Anlage der Querdämme entscheidend für ihre Wirksamkeit. Die Korrektheit der Querdämme sollte stichprobenartig mittels Ortsbegehung überprüft werden, da eine Kontrolle über Fernerkundung bisher nicht möglich ist.

Kombination von Maßnahmen

Die Analyse der vorhandenen Arbeiten zur Reduktion des Oberflächenabflusses zeigte, dass es schwierig ist, die Wirkung einer einzelnen Maßnahme zu quantifizieren. Allgemein gilt, dass von einem zusätzlichen synergetischen Effekt ausgegangen werden kann, wenn Maßnahmen auf dem Feld (z.B. Querdämme, Mulchsaat, Direktsaat) mit einem grasbewachsenen Filterstreifen kombiniert werden. Hintergrund ist, dass die Reduktionseffizienz eines Filterstreifens für Oberflächenabfluss von der hydraulischen Last abhängt, so dass sich bei einer geringeren Belastung des Filterstreifens (aufgrund einer zusätzlichen Maßnahme auf dem Feld) die Wirkung des Filterstreifens erhöht. Das gleiche gilt auch für den Bodenabtrag. Insofern wird prinzipiell eine Kombination verschiedener Risikominderungsmaßnahmen empfohlen. Allerdings sollte die Wirksamkeit der Kombinationsmaßnahme durch eine mechanistische Modellierung (z.B. mit PRZM und VFSMOD) überprüft werden, anstatt konstante Reduktionsfaktoren für einzelne Maßnahmen zu verwenden. Für den Fall von bodenkonservierenden Maßnahmen müsste jedoch die Datengrundlage für die Modellierung, z.B. zur Anpassung der Curve Number, wie beim Querdammhäufler, erst erhoben werden.

Summary

Risk mitigation measures can be imposed with the authorization of plant protection product to ensure acceptable risks for the environment while using the product under standard use conditions. Regarding risk for aquatic ecosystem the risk mitigation measures aim to reduce pesticide exposure in adjacent surface water bodies during or as a result of their use. Missing the assumed mitigation level of the measures unacceptable effects on the environment cannot be excluded. Thus, many plant protection products would not meet the requirements for authorization. Consequently, the extent to which exposure reduction is achieved by the mitigation measures is a key factor for risk assessment in the authorization process. In case of overestimation or incorrect use of the mitigation effectiveness in the risk assessment unacceptable effect on the environment might occur during the use of the product.

This project is focused on risk mitigation measures reducing pesticide exposure of surface water due to runoff and erosion. Commonly used and potential mitigation measures were analysed regarding their effectiveness reducing pesticide exposure, their practicability and controllability. A proposal should then be compiled whether and how suitable mitigation measures can be applied in the quantitative risk assessment for authorization of plant protection products to optimise risk mitigation in general.

Evaluation of common and potential risk mitigation measures

Step 1 – Literature review: First, scientific and grey literature but also various advisory documents were searched for measures to reduce pesticide exposure of surface water due to surface runoff and erosion. A total of 42 measures were collected.

Step 2 - Prioritization of the measures: For a first rough pre-selection, the measures compiled in step 1 were systematically classified by the project team according to their estimated mitigation effectiveness, practical relevance and relevance to be applied as mitigation measure for authorization of plant protection products. The prioritization led to the following measures, which were considered in the next steps:

- > several variations of vegetated filter strips (in the field and at the edge of field)
- No-till, strip-till, reduced tillage, contour-cropping, contour tillage, deep rooting cover-crops, cover crops, mulch-tillage, strip-cropping, intercropping
- Micro-dams

Step 3: Specific definition of the methods: Based on expert interviews (see step 5 for details) it was evaluated how the measures need to be defined to achieve the desired efficacy regarding pesticide reduction. The findings are comprehensively described in Section 2.3.2.

Step 4 - Criteria for the acceptance of the methods: Criteria were defined how the acceptance of the measures can best be made assessable.

Step 5 - Evaluation of the methods: For the practical evaluation of the measures, five recognized experts with scientific and agricultural background and different perspectives on the topic (pesticide exposure assessment, erosion protection, run-off reduction, conservation tillage, water protection, plant protection) were consulted. For the survey, guideline-based interviews with general questions on the topic (see Appendix A.2) and a semi-quantitative evaluation of the prioritized measures according to their estimated mitigation effectiveness, profitability, controllability, current distribution and dissemination potential (see Table 3 in Chapter 2.4) were used.

Three groups of measures emerged, which were then considered for the quantitative assessment: vegetated filter strips, several measures of conservation tillage and micro-dams in the field. Vegetated filter strips were regarded as having no impact on profitability or being unprofitable, easy to control and commonly used. However, there were considerable deviations in the assessment by experts depending on the type of filter strip. Conservative tillage and no-till were classified as economically neutral to profitable, positive in terms of controllability. Depending on the type of tillage as well as on the agricultural region they are of different importance for farmers according to the experts. Micro-dams were classified as economically neutral, easily controllable but currently only of little importance for the farmers mainly due to their limited crop specific use.

Evaluation of mitigation effectiveness

The mitigation effectiveness regarding pesticide exposure of the selected measures was analysed using various statistical methods. The underlying data originate from reviews, compilations of test data and individual studies. The evaluation was carried out using box and scatter plots, classification and regression trees and multiple linear regression (MLR). Those mitigation measures were considered in the analysis that were regarded as suitable by the experts (highlighted in colour in table 3, chapter 2.4):

- 1. vegetated filter strips (at the edge of field)
- 2. various soil conservation techniques in the field
- 3. micro-dams in the field

In respect to the mitigation effectiveness reducing pesticide exposure due to runoff and erosion the following results were obtained:

Vegetated filter strips

Grass-covered filter strips (vegetated filter strips, VFS) belong to the common risk mitigation measures to reduce pesticide transport into edge of field water bodies due to surface runoff and erosion. An extensive data set (n=244) was available comprising event-related data on surface runoff, erosion and pesticide load. The analysis focused on the question whether the mitigation effectiveness of a grass-covered filter strip can be predicted or described with one or more independent parameters (e.g. precipitation, soil properties, and filter strip with). The mitigation effectiveness included following three main variables that describe generally the suitability of a measure:

- 1. reduction of the total water inflow ΔQ (surface runoff + precipitation on the VFS),
- 2. reduction of the incoming sediment load ΔE and
- 3. reduction of the pesticide load ΔP .

Following conclusions can be drawn:

- Reduction of total water inflow ΔQ can be predicted fairly well based on the independent parameters (e.g. precipitation, soil properties, run-on, filter strip width)
- ightharpoonup Reduction of incoming sediment load ΔE cannot be predicted well with statistical methods. Besides reduction of total water inflow ΔQ is required for the prediction.
- ▶ Only if reduction of total water inflow ΔQ as well as reduction of incoming sediment load ΔE is known reduction of pesticide load ΔP can be predicted well. However, uncertainties in ΔQ und ΔE add to ΔP .

The implementation of mitigation effectiveness of vegetated filter strips in environmental exposure assessment using a fixed reduction value that depends on a certain parameter is not sensible due to the large number of influencing factors and the non-linearity of the processes. In the environmental risk assessment, pesticide reduction by vegetated filter strip is currently linked to the width of the filter strip: A filter strip 10 m wide leads to a reduction of 60 % of the surface runoff and 85 % of the load of eroded soil material and the respective pesticide contained therein. However, the statistical evaluation now available showed that the filter strip width is not suitable for predicting a reduction in the total water inflow (surface runoff + precipitation on the VFS) ΔQ , the load of eroded soil material ΔE and the reduction in the pesticide load ΔP .

Rather, mechanistic modelling of infiltration and sedimentation is a prerequisite to apply vegetated filter strips as a risk mitigation measure for authorization of pesticides. It allows the calculation of the respective mitigation effectiveness depending on weather data, soil properties including individual soil moisture conditions at the time of the runoff event, dimensions and slope of the vegetated filter strip. Such modelling can be performed, for example, with the VFSMOD program. A purely statistical analysis cannot provide a reliable value for the extent of mitigation by a vegetated filter trip.

Soil conservation techniques in the field

The evaluation showed variable results regarding mitigation effectiveness of **mulch sowing**. In some cases, mulch sowing led to a reduction of surface runoff, but in others to a slight increase. For soil erosion similar results were obtained, either a significant reduction or no effect on soil erosion were detected. Results regarding reduction of pesticide load were only limited available (one study) but favourable mitigation effectiveness was determined with soil cover above 30 %. Due to the heterogeneity of both the available studies and the results derived from them, which may also result from insufficient soil cover, mulch sowing cannot be used as a risk mitigation measure to reduce pesticide runoff without a explicit specification of a minimum soil cover.

No-tillage showed a clear reduction effect in terms of erosion and surface runoff volumes, especially when high rainfall occurred. No-till was found to be an effective mitigation measure to reduce the pesticide loss by runoff. However, it is recommended to clarify the occasionally observed increased discharge through leaching and drainage, which could be caused by preferential flow paths and an increased use of herbicides.

Contour cropping has also proven to be very effective against surface runoff and erosion. Nevertheless, given the small number of studies and the unclear description of the conditions in the studies including the applied measure, no recommendation is given to implement this measure as risk mitigation measure.

Strip-till seed showed a great mitigation effectiveness regarding pesticide reduction. Therefore, it is regarded as a mitigation measure with considerable potential. However, only four study results were available for this type of cultivation. So no recommendation is given to consider this mitigation measure in the regulatory context at this current stage.

Overall, the evaluation showed that mitigation effectiveness of soil conservation techniques for surface runoff, erosion and pesticide load is much more difficult to derive and thus to establish in exposure assessment quantitatively, compared to vegetated filter strips next to the field. On the one hand, this is due to the fact that the available studies rarely provided information on how the measure was carried out in detail. On the other hand, the reduction performance of the measures was very heterogeneous. This means that neither requirements on the

implementation of mitigation measure nor a mitigation effectiveness to be applied in exposure assessment can be derived.

Micro-dams in the field

The use of micro-dams can significantly reduce the surface runoff from the field. Furthermore, micro-dams can also significantly reduce the loss of irrigation water by surface runoff and thus increase irrigation efficiency. However, unlike common risk mitigation measures this method is crop-dependent, because the appropriate technology for building the dams must be available. Micro-dams between ridges are applied in potatoes. Consequently, the data on potatoes were primarily evaluated, but some studies on the effect of micro-dams on maize are also available with similar results.

Since the reduction in surface runoff is generally also associated with a significant reduction in soil erosion, micro-dams are also suitable for reducing the load of pesticides into surface water bodies via the sediment phase. However, only two of the studies really presented quantitative results on pesticide reduction. The average reduction over all pesticides used in the total season by micro-dams was found to be 91 % and 84 %, respectively. This also illustrates that the measure is fundamentally suitable for reducing the risk of pesticides entering surface waters through surface runoff.

Proposals for implementation of the measures in the quantitative environmental exposure assessment

After initially focusing on the mitigation effectiveness of various measures to reduce the pesticide load transported to surface water by surface runoff and erosion, implementation of these measures in environmental exposure assessment is discussed. On the basis of the evaluation provided before only two measure can be proposed to apply as risk mitigation measure in exposure assessment for authorisation of plant protection products:

- 1. Vegetated filter strips
- 2. Micro-dams in the field

Further soil conservation measures in the field (e.g. mulch sowing, no-till, trip-till seed) are not recommended to implement in the environmental exposure assessment as the data are insufficient to derive sound values of their mitigation effectiveness. The small number of available studies and/or insufficient documentation of the study conditions and/or the heterogeneity of the determined mitigation effectiveness of the measure do not allow to establish any level of mitigation that could be applied for exposure assessment in the authorization of plant protection products.

Vegetated filter strips

The evaluation based on various statistical methods showed that this common risk mitigation measure is very effective. However, it was not possible to describe the mitigation effectiveness purely on the basis of statistical methods as complex and non-linear key processes involved, in particular infiltration and sedimentation. Especially, the total water inflow (precipitation + surface runoff from the field), the incoming sediment load, the soil type (texture, content of organic matter), area and width of the vegetated filter strips and finally the condition of the vegetated filter strips (vegetation, hydraulic properties, soil moisture at the beginning of the event) have an influence. Therefore, applying a uniform reduction factor for surface runoff, sediment load or the pesticide load is not reasonable.

Instead, in the framework of pesticide authorisation mechanistic modelling should be performed. Such modelling allows that mitigation effectiveness of vegetated filter strip is calculated depending on the characteristics of the field, the rainfall event and the condition of the vegetated filter strips. In these simulations, the modelling of infiltration and sedimentation is crucial. Based on calculated reduction in the total water inflow (surface runoff + precipitation on the VFS) and incoming sediment load caused by the vegetated filter strip, the reduction of the pesticide load can be estimated using the so-called pesticide trapping equations. Simulation in this context could be performed VFSMOD program.

Micro-dams in the field

On the available studies it can be concluded that the expected reduction by micro-dams of surface runoff, erosion or pesticide discharge depends on the soil moisture status at the beginning of the rain event. Therefore, it is again not reasonable to apply a uniform reduction factor in the exposure assessment to acknowledge micro-dams. Instead, mitigation effectiveness by micro-dams needs to be modelled considering the water content in the soil on a daily basis and thus be able to calculate a meaningful reduction value for each runoff event by adapting the curve number as a model parameter for the reduction in surface runoff due to micro-dams. This approach is implemented in the PRZM model, which is used in the regulatory context for exposure assessment of pesticides according to FOCUS Surface Water (FOCUS, 2001.).

Generally, the adjustment of curve number to micro-dams should be selected depending on soil and crop and thus the type of micro-dam. For potato cultivation recommendations on implementing curve numbers are already available.

Applying micro-dams as risk mitigation measure it is of fundamental importance that the micro-dams are installed in a technically correct manner because that is crucial for their effectiveness for the distance and height of the dams depending on the slope. The design of the micro-dams should be randomly checked by means of an on-site inspection, as a control using remote sensing is not yet possible.

Combination of mitigation measures

This analysis showed that it is difficult to quantify the effectiveness of individual measures, especially of soil conservation techniques in the field. However, an additional synergetic effect can generally be assumed if measures in the field (e.g. micro-dams, mulch sowing, and no-till sowing) are combined with a vegetative filter strip. Considering that mitigation effectiveness of a vegetated filter strip for surface runoff depends on the hydraulic load, the effectiveness of the vegetated filter strip is increasing when the vegetated filter strip is less loaded (due to an additional measure in the field). The same also applies to reduction of incoming sediment load by vegetated filter strip. Therefore, a combination of risk mitigation measures is recommended in general. Nevertheless, an overall mitigation effectiveness needs to be checked by mechanistic modelling (e.g., with PRZM and VFSMOD) rather than applying constant reduction factors. In the case of soil conservation techniques, however, the data basis for the modelling would first have to be gained, that then would allow adjusting the curve number for modelling as already proposed for micro-dams.

1. Einleitung

1.1 Aktuelle Situation

Im Rahmen der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln wird stets überprüft, ob bei bestimmungsgemäßer Anwendung der Mittel die Kriterien zum Schutz von Umwelt und Grundwasser eingehalten werden. Ist dies nicht auszuschließen, können mit der Zulassung Maßnahmen festgesetzt werden, um möglichen negativen Auswirkungen auf die Umwelt und das Grundwasser bei Anwendung des Pflanzenschutzmittels entgegenzutreten.

Im Fall von Oberflächengewässern haben diese Maßnahmen den Zweck, den Eintrag von Pflanzenschutzmittel in angrenzende Gewässer bei oder infolge deren Anwendung zu reduzieren. So sind zum Beispiel bei der Applikation einiger Pflanzenschutzmittel Abstände zu Gewässern einzuhalten, verbunden mit der Verwendung Abdrift mindernder Technik. Darüber hinaus werden Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung expositionsmindernd berücksichtigt.

Ohne diese expositionsmindernden Risikominderungsmaßnahmen wären viele Pflanzenschutzmittel nicht zulassungsfähig da andernfalls nicht ausgeschlossen werden kann, dass es zu schädlichen Einträgen in die Umwelt kommt.

Um eine Risikominderungsmaßnahme im Zulassungsverfahren als expositionsmindernd für die Umwelt zu berücksichtigen, ist es erforderlich, dass die Wirkung der entsprechenden Methode, d.h. deren Reduktionsleistung, belastbar quantifizierbar ist. Eine überschätzte Reduktionsleistung könnte bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt führen. Dies gilt sowohl für die Wirksamkeit grasbewachsener Pufferstreifen als auch für die Maßnahmen im Bereich der konservierenden Bodenbearbeitung.

Eine etablierte Risikominderungsmaßnahme für Pflanzenschutzmittel sind Abstandauflagen bei Applikation zur Vermeidung von Abdrift in benachbarte Ökosysteme. Die expositionsmindernde Wirkung der Abstandsauflage lässt sich dank zuverlässiger experimenteller Daten gut quantifizieren.

Allerdings zeigen vorliegende Studien zu Messprogrammen der Länder zum Belastungszustand von Kleingewässern der Agrarlandschaft mit Pflanzenschutzmitteln, dass die für den Naturhaushalt unbedenklichen Konzentrationen von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und deren Abbauprodukten in Kleingewässern regelmäßig überschritten werden (siehe auch Übersichtarbeit Brinke et al., 2015). Dies kann möglicherweise auch dadurch erklärt werden, dass einige der derzeitig gültigen Risikominderungsmaßnahmen seit mehr als 20 Jahren in Verwendung sind und erneute Evaluationen und Anpassungen an aktuelle Entwicklungen in der Landwirtschaft, z. B. in Bezug auf die Anwendungstechnik oder die Bewirtschaftungsmethoden kaum stattgefunden haben

Daneben wird die tatsächliche Wirksamkeit wie auch die Praktikabilität und Kontrollierbarkeit einiger Risikominderungsmaßnahmen von verschiedenen Seiten hinterfragt. So äußern sich einige wissenschaftliche Veröffentlichungen kritisch zur Wirksamkeit bestimmter bestehender Maßnahmen, insbesondere der Mulchsaat (Maetens et al. 2012 & Bach et al. 2016). Aber auch Beratungs- und Kontrolltätigkeiten (u. a. im Jahresbericht Pflanzenschutz- Kontrollprogramm 2017) liefern Hinweise, die die Praktikabilität v. a. der Maßnahmen zum Schutz von Gewässern infrage stellen.

Im Rahmen des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln wurden weitere Maßnahmen zur Minderung des Risikos von TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Pflanzenschutzmitteln auf den Naturhaushalt wie Maßnahmen zum Erosionsschutz, Zwischenfrüchte und Untersaat, Blüh-, Schon- und Ackerrandstreifen und die Umwandlung von Ackerland in Grünland empfohlen. Diese werden durch die Länder im Rahmen der Agrarumweltprogramme mit Bezug zum Pflanzenschutz und ökologischen Landbau gefördert.

Unabhängig davon bestehen auf europäischer Ebene Aktivitäten zur Harmonisierung der Risikominderungsmaßnahmen. Ausgangspunkt dafür ist der MAgPIE-Bericht (Alix et al. 2017) als Ergebnis zweier europäischer Workshops im Jahr 2013. Der Bericht beinhaltet eine Übersicht von potentiell geeigneten Maßnahmen für die verschiedenen Eintragspfade in Oberflächengewässer und empfiehlt, einzelnen Maßnahmen in Bezug auf ihre Reduktionsleistung Punkte zuzuordnen und diese Punkte für eine Gesamtreduktionsleistung zu verknüpfen. Aus einem Punktekatalog sollen dann entsprechende Maßnahmen gewählt werden können, um eine bestimmte Reduktionsleistung zu erreichen.

Aus dieser Übersicht wird deutlich, dass Risikominderungsmaßnahmen einen integralen Bestandteil bei der Umweltrisikobewertung darstellen. Um das Ziel der Maßnahmen, die Vermeidung schädlicher Auswirkungen auf das Grundwasser und den Naturhaushalt (Oberflächenwasser), zu erreichen, ist eine Quantifizierung und Überprüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen hinsichtlich der Reduzierung des Eintrages von Pflanzenschutzmittel in die Umwelt entscheidend. Allerdings müssen die Maßnahmen so ausgestaltet und weiterentwickelt werden, dass sie dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen und dabei sowohl praktikabel als auch kontrollierbar sind. In dem vorliegenden Forschungsvorhaben sollen diese Bedingungen für den Eintragspfad Oberflächenabfluss (surface runoff) adressiert werden.

1.2 Ziele des Forschungsvorhabens

Ziel des Vorhabens ist es, die Möglichkeiten von Risikominderungsmaßnahmen zu untersuchen, die den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer über den Pfad Runoff und Erosion reduzieren sollen. Die Minderungsmaßnahmen sollen hinsichtlich ihrer Reduktionsleistungen, ihrer Praktikabilität und Kontrollierbarkeit unter Berücksichtigung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik bewertet und auf dieser Basis Vorschläge darüber erarbeitet werden, wie geeignete Maßnahmen in die Risikoabschätzung in den Zulassungsverfahren rechnerisch einbezogen werden können. Mit den Ergebnissen des Vorhabens soll die derzeitige quantitative Risikobewertung für Pflanzenschutzmittel unter Berücksichtigung von Risikominderungsmaßnahmen unterstützt und verbessert werden. Darüber hinaus können die Ergebnisse des Forschungsvorhabens dazu beitragen, die Möglichkeiten eines zukünftigen modularen Systems in Anlehnung an das MAgPIE-Konzept zu prüfen. Die Bearbeitung ist so gestaltet, dass die Ergebnisse des Vorhabens in den Dialog mit den Akteuren in der Landwirtschaft über zukünftige Risikominderungsmaßnahmen einfließen können.

2 Recherche, Begriffsdefinitionen und Beschreibungen bestehender und potentieller Risikominderungsmaßnahmen zur Reduktion von Wirkstoffeinträgen in Gewässer über Runoff und Erosion

2.1 Einleitung

Pflanzenschutzmitteln

Während die Vorgabe bei der Einhaltung von Abständen zu Gewässer zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteleinträgen über Abdrift klar und eindeutig ist, gibt es bei anderen Maßnahmen beträchtliche Unschärfen und je nach wissenschaftlicher Fachdisziplin auch unterschiedliche Auffassungen. Eine eindeutige Beschreibung oder Definition der Maßnahmen ist nicht nur unerlässlich für die qualitative Diskussion über Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz und Kontrollierbarkeit, sondern ist auch nötig, um die vorhandenen quantitativen Daten einzuordnen. So lassen sich zum Beispiel nur mit einer klaren Definition und eindeutigen Kriterien, wie eine Mulchsaat ausgestaltet sein sollte, die Daten aus der Literatur evaluieren.

Die vorliegende Arbeit verwendet bestehende Definitionen und zeigt, falls vorhanden, deren Unsicherheiten auf. Dies umfasst einerseits die bestehenden Auflagen des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, BVL (BVL 2020), die bereits genannten Zusammenstellungen risikomindernder Maßnahmen wie den Bericht der Arbeitsgruppe *Mitigating the Risks of Plant Protection Products in the Environment* (MAgPIE, Alix et al. 2017), den "Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln" (NAP 2017) und andererseits gezielte Ergänzungen, zum Beispiel die vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft erarbeiteten Fachartikel und Richtlinien (KTBL 2015). Es werden möglichst keine neuen Begriffe eingeführt, aber aufgezeigt, aus welchem Kontext die Definitionen stammen und wo noch Unschärfen bestehen.

2.2 Vorgehen

Das Vorgehen für die Erstellung der Übersicht bestehender und potenzieller Risikominderungsmaßnahmen (RMM) und deren Bewertung ist nachfolgend beschrieben.

2.2.1 Übersicht über bestehende und mögliche risikomindernde Maßnahmen

Schritt 1 - Literaturrecherche: Zunächst wurde die wissenschaftliche Literatur, graue Literatur und Beratungsunterlagen nach RMM mit Fokus auf die Reduktion von PSM-Einträgen durch Runoff und Erosion durchsucht.

Für die Zusammenstellung potentieller RMM wurde schließlich auf folgende Quellen zurückgegriffen:

- ▶ Bestehende RMM-Auflagen in der Zulassung (BVL 2020)
- ► Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP 2017) und Zusammenstellungen von "Greeningmaßnahmenvorschlägen" (EU 2017, MWVLW 2019)
- ▶ Berichte der FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios und MagPIE (FOCUS 2007a, 2007b, Alix et a. 2017)
- ► GERDA Bericht (Bach et al. 2016)

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber

▶ Beratungsunterlagen

Pflanzenschutzmitteln

- aid infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e. V. (Deutschland), im Jahr 2016 aufgelöst (AID 2015),
- ▶ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Deutschland, KTBL 2015),
- ▶ Bundesamt für Landwirtschaft (Schweiz, BLW 2010)
- Schoop und Fischler 2019, Schweiz
- ► Train Operators to Promote best management Practices & Sustainability (TOPPS-Prowadis 2014a, 2014b)
- Wissenschaftliche Literatur (Aletto 2010).

Alle in diesen Quellen aufgeführten Maßnahmen wurden mit Titel und einer kurzen inhaltlichen Ausführung beschrieben. So wurde eine breite Übersicht über die grundsätzlich möglichen Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten erstellt. Die Ergebnisse werden in Kapitel 2.3.1 beschrieben und im Anhang A.1 im Detail aufgeführt.

Schritt 2 - Priorisierung der Maßnahmen: Im Sinne einer ersten groben Vorauswahl wurden die in Schritt 1 zusammengestellten Maßnahmen durch das Projektteam bezüglich Praxisnähe und Relevanz für die Fragestellung eingestuft. Die Maßnahmen wurden wie folgt priorisiert:

- ▶ Qualitative Betrachtung (ja/nein): Kriterien waren insbesondere
 - a. wie sinnvoll und wirksam die Maßnahme eingeschätzt wurde, sowie
 - b. ob sie grundsätzlich im Rahmen der Zulassung anwendbar wäre, wie realistisch eine breite Umsetzung wäre, sowie
 - c. ob sie in die Zielsetzung der Studie passte (bzw. keine "out-of-scope"-Maßnahme).
- ▶ Quantitative Betrachtung (ja/nein): Kriterien waren insbesondere ob zusätzlich zu den oben genannten Kriterien auch die Datenlage als genügend eingeschätzt wurde, so dass eine Wirksamkeit statistisch ausgewertet werden kann. Die so priorisierten Maßnahmen werden in Kapitel 3 genauer betrachtet.

Die hier priorisierten Maßnahmen wurden in den nachfolgenden Schritten weiter betrachtet. Die detaillierten Ergebnisse der Priorisierung sind in Anhang A.1 ersichtlich.

Schritt 3 – Genauere Definition der Maßnahmen: Im Rahmen von Experteninterviews (vgl. Schritt 5 für Details) wurde für ausgewählte Maßnahmen ermittelt, ob und wie diese genauer definiert werden müssten, um die erwünschte Wirksamkeit gewährleisten zu können (vgl. Frage 5 im leitfadengestützten Interview). Die Erkenntnisse werden in Kapitel 2.3.2 beschrieben.

2.2.2 Bewertung der Risikominderungsmaßnahmen bezüglich Akzeptanz und Kontrollierbarkeit

Schritt 4 - Kriterien für die Akzeptanz: Die Akzeptanz einer Maßnahme in der Praxis ist elementar für eine erfolgreiche Umsetzung, beinhaltet jedoch vielfältige Aspekte. Es wurden nach Absprache im Projektteam und mit dem Auftraggeber Kriterien definiert, nach denen die Akzeptanz klar beurteilt werden kann.

Schritt 5 - Bewertung der Maßnahmen: Für diese praxisnahe Fragestellung ist eine Literaturrecherche wenig zielführend. Aus diesem Grunde wurden hierfür fünf anerkannte Fachleute aus Wissenschaft und landwirtschaftlicher Beratung mit verschiedenen Perspektiven auf die Thematik (Schadstoffdynamik, Erosionsschutz, Runoff-Verminderung, konservierende Bodenbearbeitung, Gewässerschutz und Pflanzenschutz) befragt. Für die Befragung wurde auf zwei Methoden zurückgegriffen, die im Projektteam und mit dem Auftraggeber gemeinsam besprochen und festgelegt wurden:

- ► Leitfadengestützte Interviews mit übergreifenden Fragen zum Thema. Die Protokolle sind im Anhang A.2 einsehbar.
- ➤ Semiquantitative Bewertung der Maßnahmen: Die Fachleute gaben für die Liste priorisierter Maßnahmen eine Einschätzung bzgl. Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit, Kontrollierbarkeit, derzeitiger Verbreitung und Verbreitungspotenzial. Dabei wurde eine Bewertung mit einer fünfstufigen Ordinalskala verwendet, die von sehr schlecht (--) für komplett ungeeignete oder wirkungslose bis sehr gut (++) für besonders geeignete und effektive Maßnahme reichte. Außerdem sollte eine Begründung für die jeweilige Entscheidung gegeben werden.

2.3 Definition und Beschreibung bestehender und potenziell runoff-und erosionsmindernder Maßnahmen

In Kürze

Zurzeit werden drei RMM im Rahmen der Zulassung von PSM eingesetzt: Pufferstreifen, Direktsaat und Mulchsaat. Es zeigt sich aber, dass die Art der Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen einen hohen Einfluss auf die PSM-Verluste durch Runoff und Erosion haben kann und daher eine Reihe weiterer Maßnahmen potentiell für die Zulassung geeignet sind. Eine einheitliche Definition von Maßnahmen existiert allerdings nicht. Grundsätzlich sind unterschiedliche Definitionen in der Literatur für eine Beschreibung der meisten Maßnahmen hinreichend spezifisch, jedoch sind die Vorgaben in der Zulassung nicht ausreichend ausführlich. So wird z.B. die Mulchsaat in der Zulassung nicht genauer spezifiziert. Dies wäre aber sehr wichtig, da die Reduktion von Runoff und Erosion stark von der konkreten Umsetzung einer Mulchsaat abhängen. Es bestehen anerkannte Richtlinien, die auf diesem Gebiet Klarheit schaffen können. Diese definieren, dass eine effektive Reduktion von Runoff und Erosion eine Bodenbedeckung von 30 % erfordert. Die Erfüllung dieser Vorgabe führt implizit auch zu einer reduzierten Bearbeitungsintensität des Bodens. Eine weitere hier vorgestellte RMM ist die Anlage von Querdämmen, die beim Anbau von besonders erosionsgefährdeteren Dammkulturen zum Einsatz kommen kann.

2.3.1 Übersicht über risikomindernde Maßnahmen

Im Rahmen des Vorhabens wurden einerseits die bereits jetzt im Zulassungsverfahren berücksichtigten Maßnahmen und andererseits weitere potentiell wirksame Maßnahmen gegen Runoff und Erosion betrachtet, wie sie z.B. im Rahmen der Cross Compliance für den Erosionsschutz zum Einsatz kommen.

Aktuell werden in der Zulassung von PSM für den Eintragspfad Runoff und Erosion drei RMM akzeptiert und eingesetzt. Diese beinhalten einen mit einer geschlossenen Pflanzendecke grasbewachsene Randstreifen, der durch die Mulch- und die Direktsaat ersetzt werden kann (Anwendungsbestimmungen NW701, NW705 und NW706, BVL 2020).

In Literatur und Beratungsunterlagen lassen sich jedoch deutlich mehr RMM für Runoff finden. So gibt es weitere Bodenbearbeitungsmaßnahmen (z.B. Konturbearbeitung oder die Anlage von Querdämmen in Dammkulturen), Anpassungen beim Anbau (z.B. Streifenanbau, Untersaaten oder Zwischenfrüchte) oder landschaftsgestaltende Maßnahmen (z.B. Anlage von Talwegpuffern). Um nicht von vornherein Maßnahmen auszuschließen, wurden auch weitergehende Maßnahmen berücksichtigt (z.B. Bewässerungstechnik oder angepasste Applikationsraten), welche zwar eine ausgewiesene Wirkung haben, aber nicht als festsetzbare Anwendungsbestimmung im Rahmen einer PSM-Zulassung geeignet sind. Alle Maßnahmen sind im Anhang A.1 einsehbar.

Die RMM werden oft in die zwei Kategorien "on-site" (= auf der Fläche) und "off-site" (neben der Fläche) sowie ggf. "edge-of-field" (an der Feldkante) unterteilt. Einige Quellen verwenden auch weitere, feinere Aufteilungen, wie z.B. die in TOPPS-Prowadis verwendete Gliederung in Bodenpflege, Anbaumethoden, Pufferstreifen, usw. (TOPPS-Prowadis 2014).

Bei der Zusammenstellung der Maßnahmen zeigte sich, dass die Maßnahmen teilweise nicht klar abgegrenzt werden können oder die Abgrenzung von der zu betrachtenden Fragestellung abhängt. Auf die wichtigsten Abgrenzungsfragen wird nachfolgend eingegangen.

- ▶ Mit Vegetation bewachsene Streifen: In der Zulassung wird der Randstreifen als "mit einer geschlossenen Pflanzendecke bewachsener Randstreifen" definiert, z.B. bei Auflage NW701 (BVL 2020). In der Maßnahmenliste (Anhang A.1) finden sich fünf Maßnahmen, welche grundsätzlich auf diese Beschreibung passen würden. Je nach Kontext oder Fragestellung kann es jedoch notwendig sein, zwischen verschiedenen Varianten dieser Maßnahmen zu differenzieren, da die Lage des Streifens eine große Rolle spielen kann. Beispielsweise sind für die Wirksamkeitsmodellierung die Position im Hang (am Gewässer anliegend oder etwas erhöht) von Bedeutung. Für die Umsetzung und Akzeptanz ist es relevant, wem das durch den Randstreifen beanspruchte Land gehört und was die alternative Nutzung wäre, da ein Streifen innerhalb des Feldes durch Landwirte weniger akzeptiert wird als ein Uferstreifen auf öffentlichem Grund.
- ▶ Je nach Quelle werden sehr unterschiedliche Begrifflichkeiten verwendet, insbesondere zwischen den Beratungsunterlagen im Bereich PSM und Gewässer (z.B. TOPPS-Prowadis 2014) und Bodenschutz (z.B. KTBL 2015 und AID 2015), weshalb eine Klärung von Begriffen wie konservierender Bodenbearbeitung, reduzierter Bodenbearbeitung usw. für Deutschland nötig ist.
- ▶ Festgestellt wurde, dass die in den Auflagen NW701, NW705 und NW706 erwähnte Option der Mulchsaat nicht genauer spezifiziert wird. Dies sollte optimiert werden, da diese Maßnahme in Deutschland stark verbreitet ist: 40 % der Anbaufläche in Deutschland werden mit reduzierter Bodenbearbeitung bewirtschaftet (DeStatis 2017), womit wahrscheinlich die Mulchsaat gemeint ist. Allerdings kann die Runoff-Reduktionswirkung der Mulchsaat je nach Umsetzungsform stark unterschiedlich sein (vgl. Ausführungen in Kapitel 2.3.2).

Insgesamt wurden 42 Maßnahmen aus Literatur und Beratungsunterlagen zusammengestellt (siehe Tabelle 1). Gemäß der in Kapitel 2.2.1 aufgeführten Methode wurden 16 Maßnahmen für die weitere qualitative Betrachtung durch Fachleute priorisiert (vgl. Kapitel 2.4.2), davon sieben Maßnahmen ebenfalls für eine quantitative Auswertung der Wirkung (vgl. Kapitel 3). Die nicht näher untersuchten Maßnahmen können in einem konkreten Einzugsgebiet durchaus einen effektiven Nutzen haben und auch Teil der guten landwirtschaftlichen Praxis darstellen, aber sie wurden als nicht geeignet für die Anforderungen einer Zulassungsbedingung im Sinne einer Anwendungsbestimmung eingestuft.

Tabelle 1: Priorisierung der RMM Maßnahmen für Runoff und Erosion

Schritt	Anzahl Maßnahmen						
Auflistung möglicher RMM Maßnahmen	42						
Priorisierte Maßnahmen für qualitative Bewertung durch Fachleute	16						
Priorisierte Maßnahmen für quantitative Bewertung bzgl. Wirksamkeit	7						

2.3.2 Begrifflichkeiten für vertieft untersuchte Maßnahmen

2.3.2.1 Generelle Definitionen im Bereich konservierende Bodenbearbeitung

Während bei den Filterstreifen die Definitionen wenig Abweichungen aufweisen, sind im Bereich konservierende Bodenbearbeitung Begriffsklärungen notwendig. Die für Deutschland maßgeblichen Publikationen sind in Richtlinien des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) und in zwei Sammelbänden des ehemaligen aid Infodienstes festgehalten (KTBL 2015, AID 2015 und AID 2016). Generell wird zwischen wendender Bodenbearbeitung mit Pflug, nichtwendender Bodenbearbeitung und Direktsaat unterschieden (KTBL 2015). Nichtwendenden Bodenbearbeitungsvarianten (siehe Tabelle 2) und Direktsaat werden in einigen Quellen zum Überbegriff konservierende Bodenbearbeitung zusammengefasst. Da bei der Direktsaat jedoch auf jegliche Bodenbearbeitung verzichtet wird, werden in der Regel die konservierende Bodenbearbeitung und die Direktsaat nicht zusammengefasst (KTBL 2015, AID 2015 und AID 2016).

Tabelle 2: Übersicht der Bodenbearbeitungsverfahren

Verfahren	Variante oder Erläuterung^	Beschreibung	Bedeckungsgrad (%)#	Intensität des Bodeneingriffs°
Direktsaat (no till)		Verzicht auf jede Form von Bodenbearbeitung, d.h. Eingriff in den Boden (mit Ausnahme Saatschlitze); häufig auch als pfluglos bezeichnet. Die Saatgutablage erfolgt in einem Arbeitsgang, wobei weniger als ein Drittel der Reihenweite bearbeitet werden. Der Bedeckungsgrad ist bei der Direktsaat am höchsten.		
	Streifensaat oder Strip-till	Streifenförmiges, höchstens 20 cm tiefes Bearbeiten des mit Pflanzen(-resten) bedeckten Bodens. Dabei werden höchstens 50 % der Bodenoberfläche bearbeitet.		
Konservierende Bodenbearbeitung (conservation tillage) bzw. nichtwendende Bodenbearbeitung	Mulchsaat ohne Saatbettbereitung	Bodenbearbeitung von mehr als 50 % der Bodenoberfläche, aber mit reduzierter Bearbeitungstiefe im Vergleich zu herkömmlicher, wendender Bodenbearbeitung und gleichzeitig erhöhter Bodenbedeckung durch Pflanzenreste (Vor- oder Zwischenfrucht). Auf Saatbettbereitung wird bei dieser Variante verzichtet.		
	Mulchsaat mit Saatbettbereitung	Analog aber mit Saatbettbereitung, in der Regel mit zusätzlichem Arbeitsgang. Der Bedeckungsgrad kann vor allem bei hoher Bearbeitungsintensität niedrig oder sogar sehr niedrig sein.		
Wendende Bodenbearbeitung		Grundbodenbearbeitung mit wendenden Werkzeugen (z.B. Streichblechpflug) auf 100 % der Bodenoberfläche und bis 35 cm Tiefe. Der Bedeckungsgrad ist bei der wendenden Bodenbearbeitung am niedrigsten, während die Intensität der Eingriffe am höchsten ist.		

[^] Stark vereinfacht nach KTBL 2015, AID 2016 und Agridea 2019

nach Sommer, C. (2003): Beiträge der Landtechnik zum physikalischen Bodenschutz. In: Bewertung von Umweltschutzleistungen in der Pflanzenproduktion. Kuratorium f. Technik u. Bauwesen in der Landw., Darmstadt, 23-30

[°] nach Ellmer, F., W. Hübner und M. Baumecker (2001): Pflug oder nicht Pflug? Neue Landwirtschaft 7, 32-24.

In Beratungsunterlagen zur Reduktion von PSM-Verlusten durch Runoff und Erosion wird von geringer oder von reduzierter Bodenbearbeitungsintensität als Maßnahme zur Reduktion der PSM-Verluste gesprochen (TOPPS-Prowadis, 2014b; Prasuhn et al., 2018), womit einerseits Mulchsaat-Varianten mit grobem Saatbett und anderseits Mulchsaat ohne Saatbettbereitung aber auch Strip-Till-Varianten (Streifensaat siehe unten) gemeint sind. Der Term reduzierte Bodenbearbeitung wird jedoch wegen der mangelnden Spezifikation im Folgenenden nicht verwendet. Der Begriff konservierende Bodenbearbeitung umfasst dagegen mit einer ganzheitlichen Sicht alle Bodenbearbeitungsverfahren, die gleichzeitig zum Schutz des Bodens vor Verdichtungen, vor Verschlämmungen und Erosion, zum Schutz der Gewässer vor Bodenund Stoffeinträgen und zur wirtschaftlichen Attraktivität des Pflanzenbaus beitragen (Brunotte, 2007). Die Verfahren nutzen immer die beiden Bausteine schonende, nichtwendende Lockerung und Mulchbedeckung zugleich. Wie diese beiden Bausteine konkret ausgestaltet sind und wie die in der wissenschaftlichen Literatur als "Conservation Tillage" bezeichnete Technik ausgestaltet ist, wird sehr unterschiedlich aufgefasst. Die Direktsaat ist durch den Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung noch einmal eine eigene Kategorie. In ihrer Wirkung bezüglich Boden- und Gewässerschutz sind bei der Direktsaat die gleichen Prozesse wie bei der konservierenden Bodenbearbeitung zu beobachten. Im Folgenden werden vor allem die in den Auflagen NW701, NW705 und NW706 als risikomindernde Maßnahme verwendeten Terme der Direkt- und Mulchsaat konkretisiert.

Bei der **Direktsaat** (englisch no-till oder direct drilling) sind die Definitionen eindeutig. Die Saatgutablage erfolgt ohne vorherige Bodenbearbeitung im ungestörten Boden. Die Bearbeitungstiefe entspricht der Tiefe der Saatgutablage.

Streifensaat (englisch strip-till) stellt eine Kombination verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren dar, die bei Reihenkulturen wie Kartoffeln, Mais und Zuckerrüben zum Einsatz kommt. Bei Strip-till werden in der Pflanzreihe die Vorteile intensiverer Bodenbearbeitung genutzt (trockenerer Boden und bessere Erwärmung). Der Boden zwischen den Reihen wird jedoch, anlog zur Direktsaat, nicht bearbeitet, wodurch dieser einen hohen Bedeckungsgrad behält.

Bei der **Mulchsaat** werden zwar mehr als 50 % der Bodenoberfläche bearbeitet, aber dennoch mit —im Vergleich zu herkömmlicher, wendender Bodenbearbeitung— reduzierter Bearbeitungstiefe und in der Regel auch reduzierter Eingriffsintensität. Dabei wird die Bodenoberfläche vor und nach der Saat durch Pflanzenreste einer **Zwischenfrucht** oder Stroh der Vorfrucht bedeckt. Als häufigste Variante der nichtwendenden Bodenbearbeitung besteht der größte Spielraum hinsichtlich der Bodenbearbeitungsintensität. Es gibt Varianten mit separaten Arbeitsgängen für Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat und weiterhin Varianten, in denen alle Bearbeitungsgänge in einem Durchgang erfolgen. Die in Tabelle 2 aufgeführte Unterscheidung von Mulchsaat mit und ohne Saatbettbereitung verdeutlicht, welch großer Spielraum bei der Bearbeitungsintensität besteht (AID 2015).

2.3.2.2 Spezifische Kriterien zur Ausgestaltung von Mulchsaaten

Aufgrund der großen Variabilität bei der Ausführung der Mulchsaat, wurde in den leitfadenbasierten Experteninterviews (Frage 5 in den Mitschriften im Anhang A.2) spezifisch nach den folgenden Möglichkeiten gefragt, um die Mulchsaat in Bezug auf ihren Beitrag zum Gewässerschutz zu spezifizieren:

- Begrenzung der Anzahl der Arbeitsgänge
- ➤ Spezifikation von Bodentypen, bei denen Mulchsaat den Runoff in hohem Maße reduzieren würde (v.a. zur Verschlämmung neigende Böden)
- Vorgabe einer ausreichend hohen Bodenbedeckung

Alle befragten Fachleute betrachten eine ausreichend hohe Bodenbedeckung als die zentrale Größe, um eine ausreichend hohe Reduktion von Runoff und Erosion durch Mulchsaat sicherzustellen. Eine Mindestbedeckung von 30 % wird in vielen Bundesländern bereits heute empfohlen, aber trotz weitverbreiteter Förderprogramme nicht vorgeschrieben (Beisecker et al., 2019). Lediglich im Bundesland Bayern gibt es für die Teilnahme an einem Förderprogramm eine Vorgabe zu einem Bodenbedeckungsgrad von 10 %. Dass diese Empfehlung nur sehr selten umgesetzt wird, zeigen Evaluationen zur Umsetzung der Cross Compliance Bestimmungen zum Erosionsschutz. So wurde in einer in den Jahren 2011 und 2012 in Bayern durchgeführten Studie zum Erosionsschutz festgestellt, dass drei Viertel der 128 vor Ort beurteilten Maisflächen eine Bodenbedeckung von unter 10 % aufwiesen (Kistler et al, 2013). Die Fachleute betonten, dass ein Bodenbedeckungsgrad von 30 % anspruchsvoll in der Umsetzung sei und dass eine Bodenbedeckung von über 30 % in der Praxis kaum umzusetzen wäre.

Die Bodenbedeckung durch die Mulchauflage nimmt im Laufe der Saison immer mehr ab, sodass auch die Reduktionsleistung abnehmen dürfte. Zwar nimmt parallel zum Abbau der Mulchauflage die Bedeckung durch die Kultur zu, doch bedeutet dies noch keinen Mehrwert gegenüber der wendenden Bodenbearbeitung. Der Vorteil der Mulchsaat besteht laut befragter Fachleute darin, dass die im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung erhöhte Infiltration und Wasserspeicherleistung über die ganze Anbausaison erhalten bleiben. Einen indirekten quantitativen Beleg für diesen Effekt lässt sich aus den Daten einer von 1998 bis 2002 in Nordrheinwestfalen durchgeführten Feldstudie erkennen (Erlach 2005). In mehreren Versuchsjahren wiesen die Mulchsaatparzellen auch bei spät in der Saison auftretenden Regenereignissen niedrigere Wirkstoffverluste auf, obwohl sich der Bodenbedeckungsgrad der gepflügten Parzellen weitgehend denen der Mulchsaatparzellen angenähert hatte.

Die z.B. in TOPPS-Prowadis genannte Begrenzung der Anzahl der Arbeitsgänge oder die Spezifikation geeigneter Bearbeitungsgeräte bezeichneten die Fachleute als weniger zielführend bzw. gar nicht nötig, denn die Vorgabe einer hohen Bodenbedeckung lasse sich nur erreichen, wenn die Bearbeitungsintensität nicht zu hoch sei. Dass bestimmte Bodentypen besonders hohe Erosions- und Runoff-Risiken aufweisen, wurde bestätigt, aber eine Eingrenzung anhand des Bodentyps als nicht zielführend eingestuft. Mehrere Fachleute betonten, dass alle Formen der reduzierten Bodenbearbeitung von der Verfügbarkeit geeigneter Breitbandherbizide abhängen. Es wurde zudem darauf hingewiesen, dass die Art der Bodenbedeckung und die Durchwurzelung der als Mulchauflage dienenden Zwischenfrucht oder Vorkultur ein relevanter Faktor für die Reduktion des Runoffs ist.

2.3.2.3 Qualitative Spezifikation der Maßnahme Anlage von Querdämmen

Vor allem beim Anbau der vergleichsweise erosionsgefährdeten bietet es sich an, mit zusätzlichen Strukturen Regenwasser auf dem Feld zurückzuhalten. Dies eignet sich vor allem beim Anbau von Kartoffeln, denn bei dieser Kultur gibt es keine praxistaugliche Direktsaatverfahren um die Infiltration zu erhöhen und auch Mulchsaatverfahren haben keine Verbreitung in der Praxis. Bereits Anfang der 1990er Jahre wurden erste Untersuchungen mit quer zum Kartoffeldamm angelegten zusätzlichen Dämmen durchgeführt, welche das Abfließen des Niederschlagswassers verhindern und im günstigen Fall auch die Wasserversorgung der Nutzpflanzen verbessern (Agassi und Levy, 1993). Es können die zwei folgenden Varianten unterschieden werden.

- Querstrukturen: Werden zusätzlich zu den für den Anbau angelegten Dämmen angelegt, um den Wasserfluss zwischen den Dämmen zu verhindern oder zu reduzieren (Abbildung 1, oben).
- Vertiefungen: Können sowohl bei Dammkulturen als auch bei normalen Reihenkulturen wie Mais angebracht werden und halten ebenfalls eine bestimmte Wassermenge auf dem Feld zurück.

Es sind auch Kombinationen von beiden Varianten möglich, in denen der Boden sowohl mit Längs- als auch mit Querstrukturen versehen wird (Abbildung 1, Mitte und unten). Es handelt sich bei allen Varianten um Mikrodammstrukturen (Micro-dams).

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Abbildung 1: Verschiedene Arten von Querdämmen und die dazugehörigen Geräte. Oben:
Querdamm im Kartoffelanbau und Querdammhäufler. Mitte und unten:
Unterschiedlich gestaltete Mikrodammstrukturen für den Maisanbau. Mitte:
angepasster Scheibenpflug (disc plough); unten: angepasste Rohrstabwalze (drum plough)



Fotos: Dirk Baets

Die Querdämme werden bei der Saatbettbereitung mit speziellen Geräten angelegt. Für die Kartoffel werden Querdammhäufler (Sittig et al., 2020a und 2020b) oder Lochsterne (Lemann et al., 2019) eingesetzt. Mit angepassten Scheibenpflügen (*disc plough*) oder angepassten Rohrstabwalzen (*drum plough*) können im Mais Querdammstrukturen erzeugt werden. In der Fahrspur werden diese Strukturen anlässlich der nächsten Befahrung teilweise wieder eingeebnet, bleiben aber im übrigen Teil der Anbaufläche erhalten.

2.3.3 Ausblick: Synergien mit mittel- und langfristigen Entwicklungen im Pflanzenbau

Die auf Landwirtschaftsflächen nutzbaren Maßnahmen gegen den Verlust von PSM-Wirkstoffen und die Maßnahmen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit sind häufig sehr ähnlich. Daher bestehen eindeutige Synergien zwischen Boden- und Gewässerschutz, die sich noch gezielter nutzen ließen. Das betrifft sowohl die Maßnahmen gegen Bodenerosion als auch die Maßnahmen gegen Bodenverdichtung (AID 2016). Auch beim Hochwasserschutz zeigt sich, wie wichtig es ist, nicht nur auf gewässernahen Parzellen, sondern möglichst im ganzen Einzugsgebiet runoff- und erosionsmindernde Maßnahmen umzusetzen (Beisecker et al., 2019).

Im Rahmen von Klimaschutz-Maßnahmen sah keiner der befragten Fachleute Entwicklungen, die sich für die Reduktion von Runoff und Erosion nutzen ließen. Teilweise wurde erwähnt, dass

durch die steigende Bedeutung des "Precision Farmings" auch neue Möglichkeiten entstünden, den Boden besser zu schützen, was wiederum zu einer Reduktion des Runoffs führen könnte. Eine künftige erhöhte Bedeutung von Untersaaten werde nicht erwartet, obwohl sich z.B. die zuerst in Frankreich eingesetzten Rapsuntersaaten in gewissen Regionen sehr rasch verbreitet haben. So geben wenige Jahre nach der Einführungder Technik bereits 17 % der Betriebe in der französischen Schweiz an, alle Rapsflächen ihres Betriebs mit Untersaat anzubauen (Baux 2019).

2.4 Bewertung der Akzeptanz und der Kontrollierbarkeit der Maßnahmen

In Kürze

Zur Erfassung der Akzeptanz einer Risikominderungsmaßnahme wurde mit Expertenbefragungen gearbeitet. Für die Akzeptanz von Maßnahmen bei den Landwirten ist es entscheidend, wie gut sich die Maßnahmen in den betrieblichen Ablauf integrieren lassen. Wichtig ist aber auch, welche Kenntnisse vorhanden sind und welche Informationen über Beratungsangebote herangezogen werden können. Daneben hat generell die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen einen Beitrag zu deren Verbreitungspotenzial, kann jedoch auch durch geeignete Fördermodelle erreicht werden. Die betrachteten Maßnahmen werden grundsätzlich als gut kontrollierbar eingestuft. Teilweise erfordern sie jedoch eine Vor-Ort-Kontrolle im richtigen Zeitfenster, was zeit- und ressourcenintensiv ist. Die mögliche Vereinfachung der Kontrollen der reduzierten Bodenbearbeitung mittels Fernerkundung wird als eher schwierig umsetzbar eingeschätzt. Im Gegensatz dazu werden bei der Anlage von Uferstreifen bereits Methoden der Fernerkundung eingesetzt. Für die Vor-Ort Kontrolle oder als Beleg einer ausreichenden Bodenbedeckung könnten zukünftig Smartphone-Apps eingesetzt werden.

2.4.1 Kriterien für die Bewertung der Akzeptanz von Maßnahmen

Die im Projekt eingesetzten Expertenbefragungen basierten einerseits auf leitfadengestützen Interviews und andererseits auf kriterienbasierten Bewertungen auf einer Ordinalskala. Eine erfolgreiche Umsetzung von Maßnahmen, die mit der Zulassung eines PSM festgesetzt werden, setzt voraus, dass sie von den Landwirten akzeptiert werden und dass die Umsetzung mit vertretbarem Aufwand kontrolliert werden kann. Für die Akzeptanz ist von entscheidender Bedeutung, dass die Landwirte die Maßnahmen einerseits in den betriebswirtschaftlichen Alltag integrieren können und andererseits die notwendigen Kenntnisse vorhanden sind. Denn es gibt durchaus Praktiken, die keine zusätzlichen Kosten verursachen, aber wegen mangelnder Kenntnisse nur eine geringe Verbreitung finden. Basierend auf diesen Überlegungen wurde entschieden, die Maßnahmen anhand der Kriterien Wirtschaftlichkeit, Kontrollierbarkeit, derzeitige Verbreitung und Verbreitungspotenzial zu bewerten. Letzteres impliziert, dass Kenntnisse verbessert oder Bedenken beseitigt werden können, so dass die Maßnahme ihr volles Potential erreichen kann. Die Kriterien werden nachfolgend beschrieben.

Das Kriterium "Wirtschaftlichkeit" soll eine Einschätzung liefern, ob die Margen der Betriebe durch die Maßnahme sinken oder sogar steigen. Letzteres kann auch dann der Fall sein, wenn eine Maßnahme zu niedrigeren Erträgen führt und gleichzeitig die Aufwände geringer ausfallen, so dass die Maßnahme insgesamt trotzdem wirtschaftlich ist. Das Kriterium der "Wirtschaftlichkeit" ist nicht eine zwingende Voraussetzung für die Umsetzung von Maßnahmen, denn es besteht auch die Möglichkeit deren Verbreitung mittels Förderprogrammen zu erhöhen oder sie schlicht vorzuschreiben. Wegen der hohen Anzahl an Maßnahmen in Verbindung mit kulturspezifischen Unterschieden wurde auf eine detaillierte agrarökonomische Evaluation verzichtet. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurde stattdessen anhand von Expertenbefragungen vorgenommen, in denen zugleich Einschätzungen zur Kontrollierbarkeit und zur derzeitigen und potenziellen Verbreitung abgefragt wurde.

Die **derzeitige Verbreitung** ist Indikator dafür, ob eine Maßnahme wirtschaftlich ist und zugleich die dafür notwendigen Kenntnisse vorhanden sind. Die **potenzielle Verbreitung** lässt darauf schließen, ob die Maßnahme zukünftig breit umgesetzt werden könnte, z.B. durch verbesserte Beratung, wirtschaftliche Unterstützung oder durch Vorschriften. Die Fachleute wurden auch nach Hinweisen auf wichtige Hürden für eine breite Umsetzung befragt (z.B. zu

unwirtschaftlich, nur für kleine Betriebe realistisch umsetzbar, Einschränkung auf einen Bodentyp, usw.).

2.4.2 Ergebnisse der Expertenbefragungen —Wirtschaftlichkeit, derzeitige Verbreitung und Verbreitungspotenzial

Die Ergebnisse der Expertenbefragung bezüglich der Wirtschaftlichkeit, Kontrollierbarkeit, derzeitigen Verbreitung und dem Verbreitungspotenzial der 16 ausgewählten Maßnahmen sind in Tabelle 3 dargestellt. Für die Bewertung wurde eine fünfstufige Ordinalskala von ++ (sehr gut bzw. sehr hoch) bis zu -- (sehr schlecht bzw. sehr gering) verwendet. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Kriterien Wirtschaftlichkeit, derzeitige Verbreitung und Verbreitungspotenzial zusammengefasst. Auf das Kriterium Kontrollierbarkeit wird in Kapitel 2.4.4 eingegangen.

2.4.2.1 Wirtschaftlichkeit

Die beiden Maßnahmen Direktsaat (+) sowie die reduzierte Bodenbearbeitung (++) wurden als wirtschaftlich eingestuft, dabei waren die Einschätzungen zwischen den Fachleuten einheitlich. Es wurde zusätzlich vermerkt, dass diese Einstufung die Verfügbarkeit des Breitbandherbizids Glyphosat sowie von die für die Spezialtechniken erforderlichen Maschinen voraussetze.

Sechs weitere Maßnahmen wurden als wirtschaftlich neutral (0) eingeschätzt, die Einschätzung der einzelnen Fachleute reichte meist von eher unwirtschaftlich (-) bis eher wirtschaftlich (+). Es handelte sich dabei primär um Maßnahmen, welche die Anbaumethoden betreffen (Streifensaat, tiefwurzelnde Zwischenkulturen, Zwischenfrucht, sowie Querdämme in Dammkulturen).

Acht Maßnahmen wurden als eher unwirtschaftlich kategorisiert (-). Bei vier Maßnahmen waren die Einschätzungen zwischen den Fachleuten einheitlich, es handelte sich hier um Maßnahmen im Bereich Bodenbearbeitung und Anbausysteme. Stärker divergierte die Einschätzung bezüglich den verschiedenen Filter- und Uferstreifen sowie Talwegpuffern. Die stark negativen Bewertungen (- -) wurden dabei nicht weiter begründet. Eine Fachperson merkte an, dass bei diesen Maßnahmen die Wirtschaftlichkeit weniger relevant sei.

2.4.2.2 Derzeitige Verbreitung

Nur die drei Maßnahmen nichtwendende Bodenbearbeitung, Zwischenfrucht und Uferstreifen wurden als bereits verbreitet in Deutschland eingestuft, was sich für die ersten beiden Maßnahmen auch durch konkrete Zahlen des statistischen Bundesamts und für die Uferstreifen durch Auswertungen im Rahmen des Nationalen Aktionsplanes (NAP) belegen lässt (Golla et al. 2020). Konkret gibt die Agrarstrukturerhebung für das Jahr 2016 für die Kategorie "konservierende Bodenbearbeitung" einen Anteil von 40 % der Anbaufläche an (Destatis 2017). Bei allen anderen Maßnahmen wurde die Verbreitung als neutral bis sehr gering beurteilt. Die Einschätzungen der Fachleute waren meist ziemlich einheitlich, einzig die Verbreitung der Anlage von Querdämmen in Dammkulturen wurde sehr unterschiedlich eingeschätzt.

2.4.2.3 Verbreitungspotenzial

Das Verbreitungspotenzial wurde im Mittel ähnlich eingeschätzt wie die derzeitige Verbreitung, die Einschätzungen zwischen den Fachleuten weisen jedoch eine starke Heterogenität auf, besonders bei der Betrachtung von Filter - und Uferstreifen.

Tabelle 3: Beurteilung von Maßnahmen bezüglich Wirtschaftlichkeit, Kontrollierbarkeit, derzeitiger Verbreitung und Verbreitungspotenzial

Ergebnisse der Expertenbewertung. Abstufung von ++ (sehr gut bzw. sehr hoch), + (gut bzw. hoch), 0 (mittel), - (schlecht bzw. gering), - - (sehr schlecht bzw. sehr gering). Gezeigt wird der Mittelwert der Experteneinschätzungen sowie in Klammern der tiefste und höchste Wert)

Maßnahmen*	Wirtschaft- lichkeit	Kontrollier- barkeit	Derzeitige Verbreitung	Verbreitungs- potenzial	Maßnahmen typ		
Direktsaat	+ (0 bis +)	++ (+ bis ++)	 (bis -)	- (bis 0)	On-site		
Streifensaat	0 (- bis +)	++ (+ bis ++)	- (- bis 0)	0 (- bis 0)	On-site		
Geringe Bodenbearbei- tungs-intensität	++ (+ bis ++)	+ (0 bis ++)	+	+ (- bis ++)	On -site		
Konturbearbeitung	-	++ (+ bis ++)	 (bis -)	- (bis -)	On -site		
Planung und Ausrich- tung von Fahrgassen	- (- bis 0)	+ (0 bis ++)	- (bis -)	- (bis 0)	On -site		
Mulchsaat	0 (0 bis +)	+ (0 bis +)	+	+ (0 bis +)	On -site		
Tiefwurzelnde Zwischenkultur	0 (- bis 0)	+ (+ bis ++)	0 (0 bis +)	0 (- bis +)	On -site		
Zwischenfrucht	0 (- bis +)	+ (0 bis ++)	+ (+ bis ++)	+ (0 bis ++)	On -site		
Anlage von Querdäm- men in Dammkulturen	0 (- bis +)	++ (+ bis ++)	- (bis +)	- (bis +)	On -site		
Streifenanbau	-	+ (+ bis ++)	 (bis -)	 (bis -)	On -site		
Untersaaten	-	+ (- bis ++)	- (- bis +)	- (bis 0)	On -site		
Filterstreifen (im Feld)	- (bis -)	+ (0 bis ++)	- (bis 0)	- (bis +)	On -site		
Talwegpuffer (im Feld)	- (bis +)	++ (+ bis ++)	- (bis -)	- (bis +)	On -site		
Uferstreifen	- (bis +)	++ (+ bis ++)	+ (+ bis ++)	+ (bis ++)	Off-site		
Talwegpuffer (außerhalb des Felds)	- (bis +)	++ (+ bis ++)	0 (- bis +)	0 (- bis ++)	Off-site		
Filterstreifen am Feldrand	0 (bis +)	++ (+ bis ++)	0 (- bis +)	- (bis ++)	Off-site		

^{*} Maßnahmen, die fett unterlegt sind, stehen im Fokus der quantitativen Untersuchung in Kapitel 3, wobei dort noch einige in Reviews vertieft untersuchte zusätzliche Maßnahmen untersucht wurden. Die fett markierten Maßnahmen gehören zu folgenden drei Obergruppen: konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat, Veränderung der Oberflächenstruktur des Bodens (Querdämme) und grasbewachsene Filterstreifen.

2.4.3 Herausforderungen und Erfolgsfaktoren für eine effektive Umsetzung

Pflanzenschutzmitteln

Als wichtigste **Herausforderung** wurde genannt, dass die Maßnahmen sich gut in die landwirtschaftliche Praxis integrieren lassen, die Maßnahmen an den Standort angepasst sein müssen und dass das notwendige Knowhow vorhanden oder einfach zu erwerben sein muss. Des Weiteren wurde angebracht, dass die Maßnahmen zwingend rechtssicher formuliert sein müssen.

Im Rahmen des Boden- und Erosionsschutzes empfohlene Maßnahmen sind im Prinzip im direkten Interesse der Landwirte, da für diese die Folgen der Erosion direkt sichtbar sind. Arbeitswirtschaftliche und ökonomische Zwänge lassen dieses Eigeninteresse aber manchmal in den Hintergrund treten. So kann das kurzfristige Anliegen eines bevorstehenden Erntetermins höher gewichtet werden als die langfristige Perspektive eine Bodenverdichtung zu vermeiden.

Basierend auf den obengenannten Herausforderungen wurden die Erfolgsfaktoren wie folgt charakterisiert:

- ▶ Bei den Landwirten ist ein Eigeninteresse für die Umsetzung der Maßnahmen vorhanden.
- ▶ Die Maßnahmen sind für den Betrieb wirtschaftlich neutral. Für unwirtschaftliche Maßnahmen kann dies durch geeignete Fördermodelle erreicht werden, zumal gewisse geförderte Maßnahmen als Leistungen für die Allgemeinheit eingestuft werden können.
- ▶ Die Maßnahmen sind praxisnah ausgelegt und werden um ein Beratungsangebot ergänzt, über das eine gute landwirtschaftliche Praxis in Bezug auf Boden- und Gewässerschutz vermittelt wird und dass über die Maßnahmen der Zulassung hinausgeht z.B. indem generelles Wissen zur Verbesserung der Bodenstruktur vermittelt wird
- ► Neue Maßnahmen werden mit geeigneten Übergangsfristen festgesetzt. So ist es für Landwirte beispielsweise schwierig, noch nicht abgeschriebene Maschinen vor Ende der geplanten Nutzungsdauer zu ersetzen, mittelfristig ist dies jedoch möglich.
- Es wird auf ein gesamtheitliches und standortangepasstes System geachtet.

Ausblick: neues Schweizer Punktesystem

In der Schweiz wurde vor kurzem ein Punktesystem eingeführt, auf Basis dessen der Landwirt Maßnahmen individuell und flexibel zusammenstellen kann. Aufgrund der Neuheit gibt es noch keine Erfahrungswerte hierzu. In der Befragung schätzen die Fachleute dieses System jedoch als unterschiedlich interessant und erfolgsversprechend ein. Im günstigen Fall könne die höhere Flexibilität die Akzeptanz bei den Landwirten erhöhen. Es wurde jedoch auch nahegelegt, dass das System erst auf die Anwendbarkeit in Deutschland geprüft werden müsse und die Anwendung mit einer Beratung kombiniert werden sollte. Außerdem wäre es wünschenswert, mehr über die Wirksamkeit der Einzelmaßnahmen in Bezug auf die Gesamtreduktion zu erfahren.

2.4.4 Bewertung der Kontrollierbarkeit

Pflanzenschutzmitteln

2.4.4.1 Auswertung der Expertenbewertung bzgl. Kontrollierbarkeit

Die Auswertung der semiquantitativen Bewertung (vgl. Tabelle 3) ergab, dass alle Maßnahmen als gut bis sehr gut kontrollierbar eingestuft wurden (+ bis ++), und die Einschätzungen fielen meist einheitlich aus. Einzig bei den Untersaaten wurde die Kontrollierbarkeit teilweise als schwierig eingeschätzt, insbesondere wenn die Kulturpflanzen hoch sind. Eine Fachperson hat zusätzlich für einen Teil der Maßnahmen vorgeschlagen, mittels welcher Technik deren Kontrolle umgesetzt werden und insbesondere, bei welchen Maßnahmen auf Fernerkundungen zurückgegriffen werden könnte (vgl. Anhang A.2). Generell wurde vermerkt, dass v.a. der in Kauf zunehmende Aufwand der limitierende Faktor bei der Kontrollierbarkeit sei.

2.4.4.2 Möglichkeiten und Grenzen der Kontrollierbarkeit

In den leitfadengestützten Interviews zeigte sich, dass nahezu alle Maßnahmen grundsätzlich kontrollierbar sind, aber bei den meisten eine Vor-Ort-Kontrolle im richtigen Zeitfenster zu erfolgen habe. Dies führe dazu, dass Kontrollen generell personal- und ressourcenintensiv sind. Die Kontrollierbarkeit der konservierenden Bodenbearbeitung wurde aber nicht als schwieriger eingestuft als die von Uferstreifen.

Der Grad der **Bodenbedeckung** und die Anwendung **konservierender Bodenbearbeitung** kann vor Ort gut überprüft werden, da die erhöhte Bodenbedeckung sichtbar ist. Das Thünen-Institut hat in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen einen, in Form eines Fächers zusammengestellten, Satz von Referenzbildern entwickelt, mit dem sich der Bodenbedeckungsgrad einfach bestimmen lässt (Abbildung 2). Dabei existiert sowohl ein Set von Bildern für die Bodendeckung durch Vorfrüchte und als auch ein Set von Bildern für die Bodenbedeckung durch Zwischenfrüchte. Die Erfahrung zeigt, dass die Bodenbedeckungsgrade oft überschätzt werden. Im Laufe der Zeit können Regenwürmer das organische Material in den Boden einarbeiten, wodurch der Effekt der Bodenbedeckung abnimmt und das Vorhandensein nicht mehr überprüfbar ist. Es ist somit sicherzustellen, dass zum Zeitpunkt der Applikation der Grad der Bodenbedeckung noch so hoch ist, dass er sichtbar und somit belegbar ist.





Quelle: M. Senger, Landwirtschaftskammer Niedersachsen und J. Brunotte, Johann Heinrich von Thünen-Institut

Die Infiltrationskapazität eines Bodens wurde als wichtige Eigenschaft mit direktem Zusammenhang zu dem Runoff-Risiko genannt und könnte an die Auflagen geknüpft werden. Für die Messung der Infiltrationskapazität von Böden werden in der Forschung und Beratung verschiedene Instrumente (z.B. Doppelring-Infiltrometer) eingesetzt. Diese sind aber für die Kontrollen nicht geeignet, da hierbei die Interpretation herausfordernd ist (Randeffekte, nötige Standardisierung und zeitlicher Aufwand). Eine qualitative Bewertung der Infiltrationskapazität kann vor Ort mittels Spatenstichen vorgenommen werden, als Kontrollinstrument ist diese Methode jedoch nicht ausreichend. Grundsätzlich scheint es daher schwierig, die Infiltrationskapazität im Rahmen von Kontrollen gut, schnell und belastbar zu klären.

Zusätzlich wurden die Fachleute befragt, ob **neue technische Möglichkeiten** genutzt werden könnten, um die Kontrollen des Grades der Bodenbedeckung sowie der reduzierten Bodenbearbeitung zu vereinfachen und verbessern. Der zukünftige Einsatz von Apps zur Bestimmung der Bodenbedeckung wird als möglich eingeschätzt. Bei den derzeitig verfügbaren Lösungen scheint die Unterscheidung von grünen Pflanzen und Boden gut zu funktionieren, während nichtgrüne Pflanzenreste noch nicht gut vom Boden unterschieden werden können, was für den praktischen Einsatz aber unerlässlich sei. Fernerkundungen werden als weniger gut anwendbar eingeschätzt, dies müsse jedoch mit den darauf spezialisierten Fachleuten zusätzlich abgeklärt werden. Beispielsweise könne geprüft werden, ob der bei der reduzierten Bodenbearbeitung häufig beobachtete höhere Bodenwassergehalt gemessen und als Indikator verwendet werden könne. Erosionsspuren seien zwar durch Fernerkunden erkennbar, nicht aber, ob die Erosionsereignisse zu einem relevanten Zeitpunkt stattgefunden haben. Diese vorsichtigen Einschätzungen für den Einsatz der Fernerkundung zur Kontrolle der konservierenden Bodenbearbeitungen stehen im Kontrast zur Maßnahme Uferstreifen, die bereits in der Praxis mittels Fernerkundung kontrolliert werden.

3 Quantifizierung der Reduktionsleistung der Maßnahmen und Eignung für die Umweltexpositionsabschätzung

3.1 Einleitung

In diesem Kapitel steht die Quantifizierung der Reduktionseffizienz der Risikominderungsmaßnahmen für Oberflächenabfluss und Erosion im Mittelpunkt (Hinweis: Die Begriffe Oberflächenabfluss und Runoff werden in den folgenden Kapiteln synonym verwendet).

Basis für die Quantifizierung sind die Ergebnisse der Analyse in Kapitel 2. Dort wurden zunächst im Rahmen einer Literaturrecherche 42 mögliche Maßnahmen zur Risikominderung aufgelistet (siehe Kapitel 2.2.1). Im Rahmen einer Priorisierung wurden aus dieser Liste 16 Maßnahmen für eine qualitative Bewertung ausgewählt und verschiedenen Fachleute zur Bewertung vorgelegt. Von den 16 Maßnahmen sollen anhand der verfügbaren Datenlagen sieben Maßnahmen für eine im Folgenden dargestellte quantitative Bewertung ihrer Wirksamkeit priorisiert untersucht werden (siehe Anhang A1 und fett markierte Maßnahmen in Tabelle 3 in Kapitel 2.4.2). Entsprechend handelt es sich um die Maßnahmengruppen

- grasbewachsene Filterstreifen (im Feld oder am Feldrand, Uferstreifen, Vegetated Filter Strips, VFS)
- konservierende Bodenbearbeitung (nichtwendende Bodenbearbeitungen mit geringer Bodenbearbeitungsintensität und ausreichender Bodenbedeckung) und Direktsaat
- ▶ Veränderung der Oberflächenstruktur des Bodens (Anlage von Querdämmen), dabei stellen die grasbewachsenen Filterstreifen am Feldrand zwischen behandelter Fläche und Oberflächengewässer (Uferstreifen) die bedeutendste Maßnahme dar, die bereits seit vielen Jahren als Risikominderungsmaßnahmen bei Zulassung von Pflanzenschutzmitteln verwendet wird. Im regulatorischen Kontext wird dabei davon ausgegangen, dass die Reduktionen des Runoffvolumens, der Erosion und der Wirkstofffracht zwar jeweils unterschiedlich sind und die Reduktionseffizienz unabhängig voneinander beeinflussen, sich aber proportional zur Filterstreifenbreite verhalten. In der regulatorischen Entscheidung hat die daraus resultierende Reduktion der PSM-Konzentration im Oberflächengewässer direkte Konsequenz in Form der festgesetzten Filterstreifenbreite.

Dagegen werden die auf dem Feld wirksamen Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat derzeit nicht in einer quantitativen Risikobewertung berücksichtigt. Allerdings können sie in den jetzigen Risikominderungsmaßnahmen für Runoff als Ausnahme anstelle von grasbewachsenen Filterstreifen geltend gemacht werden und sind diesen damit hinsichtlich ihrer Wirksamkeit gleichgesetzt. Im gesamten Kapitel 3 werden die Maßnahmen, wie Mulchsaat, Streifensaat und deren Varianten sowie Direktsaat unter den Begriff konservierende Bodenbearbeitung oder bodenkonservierende Maßnahmen gefasst (siehe Kapitel 2.3.2.1). Es wird angenommen, dass sie sowohl runoff- als auch erosionsmindernd wirken. Das Anlegen von Querdämmen auf behandelten Flächen bedarf einer besonderen Technik und bietet sich vor allem bei den besonders erosionsgefährdeten Dammkulturen an. Die entsprechende Technik zum Anlegen von Querdämmen, sog. Querdammhäufler, wurde für den Kartoffelanbau entwickelt und findet in Deutschland vereinzelt Anwendung. Der Anbau als Dammkultur außerhalb von Kartoffeln ist wenig verbreitet (siehe auch Kapitel 2.3.2.3) und

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Daten zur Wirksamkeit der Querdämme wurden erst in jüngster Vergangenheit erhoben. Insofern wird das Anlegen von Querdämmen bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln als runoffmindernde Risikominderungsmaßnahmen derzeit nicht berücksichtigt. Alle Maßnahmen sind zusätzlich im Anhang C (Tabelle 32) zusammengestellt.

Für die Quantifizierung einer Maßnahme müssen beim Oberflächenabfluss (Runoff) zwei Typen unterschieden werden:

- ▶ Oberflächenabfluss durch Infiltrationsüberschuss (*Hortonian runoff* oder *infiltration excess runoff*)
- Oberflächenabfluss durch Sättigungsüberschuss (saturation excess runoff)

Hortonian runoff entsteht, wenn der einfallende Niederschlag die maximale Infiltrationsrate und die Oberflächenspeicherkapazität des Bodens übersteigt (Bach et al., 2017). Die maximale Infiltrationsrate (auch Infiltrationskapazität genannt) nimmt mit zunehmenden Schluff- und Tongehalten ab (geringere gesättigte Leitfähigkeit der Bodenmatrix), aber mit zunehmend komplexer Bodenstruktur und zunehmendem Vorhandensein von Makroporen an der Oberfläche zu.

Saturation excess runoff entsteht, wenn der Wasserspiegel bis an die Bodenoberfläche steigt, so dass zusätzlicher Regen nicht mehr infiltrieren kann und oberirdisch abfließen muss (Garen und Moore, 2005).

Hortonian runoff hängt im Wesentlichen ab von:

- Niederschlagsmenge
- ► Niederschlagsintensität
- hydraulische Eigenschaften, Feuchtestatus und Verschlämmungsneigung des Oberbodens
- Bodenbedeckungsgrad (Interzeption durch die Kultur)
- ▶ Oberflächenspeicherkapazität des Bodens (kann beispielsweise durch Querdämme erhöht werden).

Saturation excess runoff hängt dagegen ab von:

- Niederschlagsmenge
- ▶ Bodenbedeckungsgrad (Interzeption durch die Kultur)
- Durchlässigkeit des Unterbodens bzw. des Untergrunds
- ► Tiefe des Profils bis zu einer undurchlässigen oder wenig durchlässigen Lage oder einem permanenten oder temporären Wasserspiegel
- Hanglänge
- laterale Leitfähigkeit / Anisotropie des Bodens
- ▶ Position am Hang (typischerweise tritt *saturation excess runoff* am Unterhang oder am Hangfuß auf).

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Saturation excess runoff ist schwieriger zu reduzieren als Hortonian runoff, weil die meisten Einflussfaktoren nicht kontrollierbar sind. Maßnahmen zur Reduktion von Oberflächenabfluss adressieren in der Regel Hortonian Runoff.

Die Analyse der Quantifizierung der Wirksamkeit der Maßnahmen basiert auf Daten aus der Literatur (Reviews oder Zusammenstellungen von Testdaten, ergänzt durch einzelne aktuelle Studien). Ziel ist es, aus den Literaturdaten möglichst genaue Aussagen über die Reduktion

- ▶ des Oberflächenabflussvolumens (ΔR) bzw. des Gesamtzuflusses (Run-on + Niederschlag) (ΔQ),
- \blacktriangleright der Fracht erodierten Bodenmaterials (ΔE),
- der gelösten und partikelgebundenen Wirkstofffracht (ΔP)
- und (wenn möglich) der resultierenden Konzentrationen im Gewässer / Gewässersediment (ΔPECsw, ΔPECsed)

in Abhängigkeit verschiedener unabhängiger Variablen zu erhalten.

Der Umfang der unabhängigen Variablen ist abhängig davon, wie detailliert über die Datenerfassung in der Literatur berichtet wurde. Im Allgemeinen werden folgende Parameter in die Auswertung einbezogen:

- Wirkstoffeigenschaften (wenn PSM-/Wirkstoff-Messungen Bestandteil der Studie waren)
- ► Niederschlagsintensität und -menge
- ▶ Bodenart
- ► Gehalt an organischer Bodensubstanz
- Hangneigung

Angaben zur Standorthydrologie und zur Position in der Landschaft stellen wichtige Informationen zur Bewertung des *saturation excess runoff* dar, wurden aber meistens nicht berichtet.

Für grasbewachsene Filterstreifen sind außerdem folgende Informationen unerlässlich:

- ▶ Dimensionen: Länge in Fließrichtung, effektive Fließbreite, source-strip ratio (das Verhältnis von Ackerfläche zur Fläche des Filterstreifens)
- ► Inputs: einströmendes Runoffvolumen (V_i), Masse eingetragenen Bodenmaterials (E_i), Niederschlag auf den Filterstreifen (P)

3.2 Erfassung der Datenlage zu bisher durchgeführten Versuchen im Bereich risikomindernder Maßnahmen und den Bedingungen, unter denen die Versuche durchgeführt wurden

In Kürze

Dieses Kapitel beschreibt die Datensätze, die zur Quantifizierung der Maßnahmen herangezogene wurden. Für grasbewachsene Filterstreifen liegt ein umfangreicher und gut dokumentierter Datensatz mit ereignisbezogenen Daten vor, der sowohl Runoff, Erosion und Wirkstofffracht umfasst. Die vorliegenden Datensätze für die bodenkonservierenden Maßnahmen sind dahingegen heterogen und enthalten nur wenige ereignisbezogene Daten. Zudem sind Dokumentation der Versuchsbedingungen und Beschreibung der Maßnahme lückenhaft. Lediglich aus einer Studie können ereignisbezogene Daten inklusive Wirkstofffracht verwendet werden. Für die Querdämme liegen zwar wenige, aber gut dokumentierte und ereignisbezogene Datensätze vor, die teilweise neben Runoff und Erosion ebenfalls Daten zur Wirkstofffracht enthalten.

Das größte Problem für eine Quantifizierung der Reduktionsleistung der verschiedenen risikomindernden Maßnahmen stellt die Variabilität und Heterogenität der existierenden Daten dar. Dies führt dazu, dass die Reduktionsleistungen sehr stark von der jeweiligen Studie bzw. den individuellen Bedingungen der Untersuchungsfläche abhängen. Diese umfassen:

- Wetter während der Studie,
- ▶ Bodenart der landwirtschaftlichen Fläche,
- Hangneigung der Fläche,
- verwendete Kultur mit ihren individuellen Anbauzeiten,
- ► Art der Durchführung einer jeweiligen Maßnahme (wie zum Beispiel gelungene oder weniger gut gelungene Mulch-/Direktsaat),
- ▶ Umfang der aufgezeichneten Parameter während der Studie,
- ▶ Zeitlicher Bezug der Datenerfassung (Runoff-/Erosionsereignis, Anbausaison oder Jahr),
- ▶ Beschränkung auf die Reduktion von Runoff/Erosion oder von Wirkstoffflüssen.

Diese Heterogenität bei den veröffentlichten Studien erschwert die Quantifizierung der Reduktionsleistung erheblich. Um die Heterogenität zu reduzieren, konzentrierte sich die Analyse auf bestehende Reviews oder Zusammenstellungen von Testdaten mit einer vergleichbaren Qualität hinsichtlich der Durchführung und Protokollierung des jeweiligen Experiments. Diese Zusammenstellungen wurden dann gezielt durch ausgewählte Arbeiten ergänzt, um die Aussagen zu schärfen.

Für **grasbewachsene Filterstreifen** wurde auf den Testdatensatz von Reichenberger et al. (2019) zurückgegriffen, welcher umfangreiche ereignisbezogene Daten zusammenfasst. Der Testdatensatz von Reichenberger at al. (2019) war mit dem Ziel zusammengestellt worden, verschiedene Vorhersagemodelle des PSM-Rückhalts im VFS (sog. pesticide trapping equations) zu testen. Er enthält 244 ereignisbezogene Datenpunkte aus 14 Studien von 13 Standorten mit folgenden quantifizierten unabhängigen Variablen:

- ► Tongehalt des Feld-Oberbodens
- Gehalt an organischer Bodensubstanz des Feld-Oberbodens
- Filterstreifenbreite = L\u00e4nge des VFS in Flie\u00dfrichtung von Run-on, Niederschlag und PSM
- ► Fläche des Filterstreifens
- ▶ Bodenabtrag vom Feld (Masse des aus dem Feld ausgetragenen erodierten Bodenmaterials)
- ▶ in den VFS einströmender Oberflächenabfluss (Run-on) = einströmendes Runoffvolumen: Vi
- Niederschlag auf den VFS: P
- ► Gesamtzufluss in den VFS (Run-on + Niederschlag): Qi
- ► Sorptionskoeffizient normiert auf den organischen Kohlenstoffgehalt im Boden (Koc)
- ► Massenverteilungskoeffizient zwischen gelöster und partikelgebundener Phase (Fph)

Ferner enthält der Testdatensatz von Reichenberger et al. (2019) drei Zielvariablen:

- relative Reduktion des gesamten Zuflusses (Run-on + Niederschlag) durch den VFS: ΔQ
- relative Reduktion der Fracht erodierten Bodenmaterials durch den VFS: ΔΕ
- relative Reduktion der Wirkstofffracht (gelöst und partikelgebunden) durch den VFS: ΔP

Die hier verwendeten Datensätze aus Reichenberger et al. (2019) weisen starke Überschneidungen mit den in FOCUS (2007a und b) verwendeten Datensätzen von Reichenberger et al. (2007) auf. In Reichenberger et al. (2007) wurden 277 Daten aus 12 Studien von 12 Standorten ausgewertet. FOCUS (2007 a und b) fügten den Daten aus Reichenberger et al. (2007) noch weitere hinzu, benutzten schließlich aber nur europäische Studien zur Ableitung der *90th percentile worst case* Reduktionseffizienz, die derzeit im deutschen Runoff/Drainage-Simulationsmodell EXPOSIT (Umweltbundesamt 2007) verwendet werden.

Zur Untersuchung der Wirksamkeit zweier schmalerer Filterstreifen (einer in der Mitte des Feldes, einen am unteren Feldrand) im Vergleich zu einem breiteren Filterstreifen am Feldrand wurden Rohdaten aus der Dissertation von Lecomte (1999) analysiert. Die Studie wurde in einem Lössbodengebiet in der Normandie durchgeführt. Der Boden war ein schluffiger Lehm mit > 60 % Schluff und 1,6 % organischer Bodensubstanz und damit sehr erosionsanfällig. In der Studie wurden über zwei Anbauperioden in Winterweizen ereignisbasiert Runoff, Erosion und PSM-Austrag gemessen und verschiedene Pufferstreifenanordnungen getestet. Es wurden zwei Wirkstoffe mit unterschiedlicher Sorptionsverhalten untersucht: Diflufenican und Isoproturon. Eine englische Zusammenfassung der Studie findet sich in Le Bissonais et al. (2004).

Für **bodenkonservierende Maßnahmen im Feld** (z.B. Mulchsaat, Direktsaat, Zwischenfrüchte) diente als Hauptdatenquelle der Review von Maetens et al. (2012). Einen Teil der zugrundeliegenden Plotdatenbank wurde von den Autoren zur Verfügung gestellt. Der Review umfasst 186 Standorte und 3875 Einträge. Im Vergleich zur vollen Datenbank fehlen in dem verfügbaren Teil die Maghrebstaaten, der Nahe Osten (weniger relevant für europäische Anbaubedingungen) sowie Litauen (Daten nicht verfügbar). Ein Nachteil der Datenbank von Maetens et al. (2012) ist, dass sie nur Jahressummen von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

enthält. Eine ereignisbasierte Auswertung ist somit nicht möglich. Die Datenbank von Maetens et al. (2012) beinhaltet auch einige Daten zur Wirksamkeit von grasbewachsenen Filterstreifen, die aber aufgrund der jährlichen Auflösung und fehlender unabhängiger Variablen nicht zusammen mit den ereignisbasierten Daten aus Reichenberger et al. (2019) ausgewertet werden konnten.

In dem Review von Maetens et al. (2012) umfasste die Messperiode für jeden Eintrag stets mindestens eine Anbausaison. In der Plotdatenbank haben Maetens et al. (2012) die Zielvariablen dann auf ein Jahr extrapoliert.

Die Plotdatenbank enthält viele unabhängige Variablen, zum Beispiel:

- Land
- Standort mit Koordinaten
- ▶ Dimensionen, Hangneigung und Exposition des Plots
- ► Landnutzungstyp (Ackerbau, Wein, Baumkulturen etc.)
- ► runoff- und erosionsmindernde Maßnahme (Soil and Water Conservation Technique (SWCT) als Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung) mit detaillierter Beschreibung der durchgeführten Maßnahme (SWCT description)
- Start- und Enddatum der Messperiode
- ▶ jährliche Niederschlagsmenge
- ▶ Bodeneigenschaften (Textur, OM, Lagerungsdichte; allerdings nicht vollständig)

Die Plotdatenbank enthält außerdem folgende abhängige Variablen (normiert oder extrapoliert auf 1 Jahr):

- ▶ jährlicher Oberflächenabfluss
- ▶ jährlicher Bodenabtrag
- jährlicher Drainageabfluss
- jährlicher Bodenaustrag durch Drainagen

Die Daten von Maetens et al. (2012) enthalten keine Daten zu Pflanzenschutzmitteln.

Die Einteilung der bodenkonservierenden Maßnahmen auf dem Feld ist mit gewissen Unschärfen behaftet. Eine Überprüfung ausgewählter Originalpublikationen zeigte, dass dies auf fehlenden Angaben in den Studien und nicht auf die Qualität des Reviews zurückzuführen ist. So wurden zum Beispiel nur vereinzelt Angaben zur Bodenbedeckung zum Zeitpunkt der Saat und im Verlauf der Anbauperiode gemacht, was bedeutet, dass für die zentrale Größe, der Art oder Ausgestaltung der konservierenden Maßnahme wie z.B. der Mulchsaat, keine Information vorliegt (siehe auch Erläuterungen in Kapitel 3.3.2. zur Auswertung der Daten).

Um den Effekt von bodenkonservierenden Maßnahmen im Feld auch auf Ereignisbasis untersuchen zu können, wurde die Dissertation von Erlach (2005) ausgewertet. Die Studie ist von hohem Wert: Zum einen enthält die Studien ereignisbasierte Daten zu Runoff- und

Wirkstoffreduktion bei Direktsaat, Mulchsaat (entsprechend der Definition in Abschnitt 2.3.2 d.h. mit einer Bodenbedeckung über 30 %) und wendender Bodenbearbeitung (Pflug). Außerdem wurden zentrale Größen wie die Bodenbedeckung über die ganze Anbauperiode miterfasst. Die Studie wurden an einem Standort über fünf Jahre durchgeführt. Es wurden sechs Wirkstoffe nacheinander untersucht.

Ferner wurden die in der Arbeit von Dönges (2012) ausgewerteten Studien sowie der Review von Fawcett et al. (1994) erneut analysiert. Beide Reviews enthalten Daten zum Wirkstoffaustrag bei unterschiedlichen konservierenden Maßnahmen im Feld, die saisonal ausgewertet wurden. Die geprüften Maßnahmen konnten im Vergleich zu Maetens et al. (2012) eindeutig zugeordnet werden.

Im Review von Elias et al. (2018) wurde spezifisch der Einfluss von Direktsaat ausgewertet, wobei weitere Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung nicht betrachtet wurden. Der Review enthält jedoch nur Daten zur PSM-Fracht und nicht zu Oberflächenabfluss (Runoff) und Bodenabtrag (Erosion). Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Direktsaat tendenziell PSM-Verluste erhöht, außer bei schwach löslichen und stark sorbierenden Substanzen. Leider konnte der Datensatz der Studie hier nicht statistisch analysiert werden, da die Rohdaten von den Autoren des Reviews nicht zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt werden konnten.

Für die Auswertung der Wirksamkeit von **Querdämmen** im Kartoffelanbau (Micro-dams) wurde auf die von Sittig et al. (2020) zusammengestellten ereignisbasierten Daten zurückgegriffen, die fünf Studien in der Kartoffel auf sechs Standorten mit unterschiedlichen Geräten (Querdammhäufler) und zwei Studien in Mais umfasst. Daten zur Wirkstoffreduktion liegen für Mais und einige Studien zur Kartoffel vor. Sui et al. (2016) untersuchten die Reduktionseffizienz von Querdämmen in Bezug auf Oberflächenabfluss und Erosion im Maisanbau in der Tschernosem-Region von Nordostchina. Die von Sui et al. (2016) untersuchten Querdämme sind denen, welche im Kartoffelanbau gestaltet werden, relativ ähnlich; so ist die Höhe der Querdämme mit 14 cm und die Distanz zwischen den Querdämmen mit 65-85 cm vergleichbar zu den untersuchten Querdämmen in der Kartoffel. Die Studie von Sui et al. (2016) wurde daher in die Auswertung mit einbezogen.

In der Studie von Keshavarz et al. (2020) wurde bei Furchenbewässerung der Effekt von Querdämmen auf die Infiltration und damit auf den Verlust von Bewässerungswasser auf einem Feld ohne Kultur untersucht. Die untersuchten Querdämme waren größer dimensioniert als in Sittig et al. (2020) und Sui et al. (2016).

Truman und Nuti (2010) untersuchten mit Hilfe von simuliertem Regen die Wirksamkeit von Querdämmen bei der konventionellen Bodenbearbeitung und Streifensaat (strip tillage) im Erdnussanbau in einem Acrisol in der Küstenebene von Georgia. Auf Parzellen von 6 m² wurde eine Stunde lang mit einer Zielintensität von 50 mm/h beregnet.

Der Review von Silva (2017) untersuchte die Reduktionseffizienz hinsichtlich Oberflächenabfluss von Becken ("basins") und Reservoirs ("reservoirs") für künstliche Bewässerung mittels Beregnung (sprinkling irrigation). Erstere entsprechen den Becken zwischen Querdämmen (Micro-dams). Reservoirs sind kleiner, aber tiefer als Becken (Silva, 2017). Details zu den verschiedenen Studien sind im Anhang B zusammengestellt.

3.3 Statistische Methoden

In Kürze

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Methoden, mit denen die experimentellen Datensätze ausgewertet wurden, beschrieben. Aufgrund der unterschiedlichen Qualität der Ausgangsdaten werden je nach Reduktionsmaßnahme unterschiedliche Methoden verwendet. Bei dem relativ homogenen Datensatz für die grasbewachsenen Filterstreifen kommen drei verschiedene statistische Verfahren (Classification and Regression Trees, multiple lineare Regressionen, Box- und Scatterplots) zum Einsatz. Dagegen konnten die Auswertungen der konservierenden Maßnahmen im Feld aufgrund der Heterogenität des Datensatzes nur auf Basis von Box- und Scatterplots erfolgen. Schließlich erfolgte die Auswertung der Daten zur Wirksamkeit von Querdämmen auf dem Feld ereignisbasiert durch das Fitten der Curve Numbers des Runoff an die gemessenen Oberflächenabflussdaten für die jeweilige Querdammvariante und Kontrolle.

3.3.1 Grasbewachsene Filterstreifen (vegetated filter strip, VFS)

Die grasbewachsenen Filterstreifen wurden mit drei verschiedenen Methoden ausgewertet, mit dem Ziel, universelle Zusammenhänge zu identifizieren und ggf. Regeln abzuleiten:

- Classification and Regression Trees (CART)
- Multiple lineare Regression (MLR)
- ► Box- und Scatterplots

Zusätzlich wurden noch verschiedene spezielle Varianten von schmaleren Filterstreifen basierend auf der Dissertation von Lecomte (1999) analysiert. Alle Methoden werden im folgenden Abschnitt erläutert.

Es ist zu beachten, dass die Reduktion des Gesamtzuflusses (einströmender Runoff + Niederschlag) ΔQ in einen Filterstreifen mathematisch einfacher zu behandeln ist als die Reduktion des einströmenden Runoffs ΔR , da ΔR unter bestimmten Bedingungen auch negativ werden kann. Deshalb wird für Filterstreifen nur ΔQ betrachtet.

3.3.1.1 Classification and Regression Trees (CART)

CART (Breiman et al., 1984; https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree_learning) ist eine Gruppe von Lernalgorithmen für Entscheidungsbäume (decision tree learning). Entscheidungsbäume werden mit den Datensätzen konstruiert, bei denen die Zielvariable, d.h. das Ergebnis bekannt ist. Die Informationen zu den unabhängigen Variablen, die die Zielvariable bestimmen, müssen nicht immer vollständig sein. Anhand der Art der Zielvariablen wird bei den Entscheidungsbäumen zwischen *Classification Trees* (diskrete, nominal oder ordinal skalierte Zielvariable) und *Regression Trees* (kontinuierliche Zielvariable, i.d.R. eine reelle Zahl) unterschieden. CART kann als ein Vorläufer der häufig angewandten Machine-Learning-Methode Random Forest (Breiman, 2001) angesehen werden.

CART-Entscheidungsbäume werden dadurch konstruiert, dass die Daten in immer feinere Klassen aufgespaltet werden. Die Spaltung erfolgt immer anhand der unabhängigen Variablen, die die Daten am besten aufteilt. Da Entscheidungsbäume zu einer Überanpassung an den Trainingsdatensatz neigen, werden sie schließlich mittels einer internen Kreuzvalidierung zugeschnitten (Pruning).

Für die vorliegende Fragestellung sind die Zielvariablen (ΔQ , ΔE und ΔP) reelle Zahlen und können beliebige Werte ≤ 100 % annehmen. Daher wird in diesem Fall ein Entscheidungsbaum vom Typ Regression Tree erzeugt. Diese Bäume werden streng nach Varianz konstruiert: Die Klassen (Knoten) werden so aufgeteilt, dass die Varianz zwischen den Tochterklassen maximiert wird. Die Methode ist somit sehr transparent. Die Berechnungen wurden mit dem in R implementierten knoell-Tool rCART durchgeführt, das auf das R-Paket rPART (Therneau et al., 2019) zurückgreift. In Abwesenheit eines unabhängigen Testdatensatzes teilt rCART den vorliegenden Datensatz zufällig in einen Trainings- und einen Validierungsdatensatz. Der Parameter splitRatio gibt hierbei die Fraktion der Daten an, die für das Training benutzt werden sollen. Erfahrungsgemäß liefern Werte um 0,7 die besten Ergebnisse. Ein weiterer benutzerdefinierter Parameter des Tools rCART ist die Mindestgröße minsplit, die eine Klasse haben muss, damit eine Aufteilung versucht wird. Der niedrigste sinnvolle Wert von minsplit ist 3. Der ebenfalls benutzerdefinierte Komplexitätsparameter cp gibt an, um wieviel sich das Bestimmtheitsmaß (R2) des Modells mindestens verbessern muss, damit eine Aufteilung der Klasse versucht wird. Für *cp* ist nicht empfehlenswert, kleinere Werte als 10-5 zu wählen, weil die Bäume sonst zu groß und unübersichtlich werden, während R² nur minimal besser wird. Je niedriger die Werte von minsplit und cp sind, desto feiner und länger wird der Entscheidungsbaum.

Der Trainingsdatensatz wird dazu benutzt, den Entscheidungsbaum zu konstruieren. Wenn der Baum fertig ist, durchläuft jeder Datenpunkt aus dem Validierungsdatensatz den Baum und endet schließlich in einer Klasse. Der vorhergesagte Wert der Zielvariable des Validierungsdatensatzes entspricht dem Klassenmittelwert für den Trainingsdatensatz. Das heißt, je feiner der Baum, desto präziser die Vorhersagen (aber nicht unbedingt richtiger).

Das Tool rCART produziert für jeden CART-Run u.a. die folgenden Ausgaben.

- den Entscheidungsbaum (.png)
- ▶ ein Scatterplot für die Vorhersage
- verschiedene Maße der Vorhersagegüte (s.u.)
- relative Wichtigkeit der erklärenden (unabhängigen) Variablen

Die Wichtigkeit einer Variablen ergibt sich durch die Summierung über alle Splits (Klassenaufspaltungen), an denen die Variable als Primär- oder Surrogatvariable beteiligt ist (Therneau et al., 2019). Das heißt, die Wichtigkeit einer Variablen berechnet sich aus allen Splits, an denen die Variable als Primärvariable oder als Surrogatvariable beteiligt ist. Die Wichtigkeit der Variablen wird schließlich so skaliert, dass die Summe über alle Variablen 100 % ergibt.

Die folgenden Einstellungen wurden für CART verwendet:

Zielvariablen:

- relative Reduktion des gesamten Zuflusses (Run-on + Niederschlag) durch den VFS: ΔQ
- ► relative Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials durch den VFS: ΔE
- relative Reduktion der Wirkstoff-Fracht (gelöst und partikelgebunden) durch den VFS: ΔP
- ► Stichprobenzahl:

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

- n = 115 für ΔQ und ΔE ,
- $n = 244 \text{ für } \Delta P$

Verfügbare unabhängige Variablen aus Reichenberger et al. (2019) für ΔQ:

- ► Tongehalt Oberboden Feld: percClay (%),
- ► OM-Gehalt Oberboden Feld: percOM (%),
- ► Pufferstreifenbreite = Länge des VFS in Fließrichtung: VL_m (m)
- ► Fläche des VFS: striparea_m2 (m²)
- ▶ Bodenabtrag vom Feld (Masse des aus dem Feld ausgetragenen erodierten Bodenmaterials): Ei_kg und Ei_kg_m2_striparea (in kg bzw. kg m⁻²)
- ▶ in den VFS einströmender Oberflächenabfluss (Run-on): Vi_L (absolut in Liter) und Vi_L_m2striparea (auf die Fläche des VFS normiert, in L m-2 = mm)
- gesamter Zufluss in den VFS (Run-on + Niederschlag): Qi_L (absolut in Liter) und Qi_L_m2striparea (auf die Fläche des VFS normiert)
- Niederschlag: precip_mm (in mm)

Für ΔE zusätzlich:

ΔQ

Für ΔP zusätzlich:

- ΔQ
- **Δ**E
- ► transformierter Verteilungskoeffizient zwischen gelöster und partikelgebundener Phase: LN_Fph_1
- ► Sorptionskoeffizient normiert auf OC: Koc_L_kg (L kg-1)

In Bezug auf die unabhängigen Variablen Q_i (Gesamtzufluss in den VFS), V_i (in den VFS einströmender Oberflächenabfluss) und Bodenabtrag vom Feld E_i wurden verschiedene Varianten getestet, um zu prüfen, ob 1) eine Normierung der Einträge in den VFS (Q_i , V_i , E_i) auf dessen Fläche vorteilhaft ist oder nicht, und 2) ob man mit oder ohne die kollineare Variable Q_i bessere Ergebnisse erzielt:

- ► Variante 1: Q_i, V_i, E_i nicht normalisiert
- ► Variante 2: Q_i, V_i, E_i normiert auf die Fläche des VFS
- ► Variante 3: wie Variante 1, aber Q_i nicht verwendet, da es Linearkombination anderer Variablen darstellt:
 - Qi_L = Vi_L + precip_mm * striparea_m2

► Variante 4: wie Variante 2, aber Q_i nicht verwendet, da Linearkombination anderer Variablen: Qi_L_m2striparea = Vi_L_m2striparea + precip_mm

Als Maße für die Vorhersagegüte wurden analog zu Reichenberger et al. (2019) folgende Kriterien verwendet:

- Pearson r²
- Nash-Sutcliffe-Koeffizient (NSE)
- Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP)
- percent bias (PBIAS)

$$r^{2} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (O_{i} - \overline{O})(P_{i} - \overline{P})}{\left(\sum_{i=1}^{n} (O_{i} - \overline{O})^{2}\right)^{0.5} \left(\sum_{i=1}^{n} (P_{i} - \overline{P})^{2}\right)^{0.5}}\right)^{2}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})^2} = 1 - \left(\frac{RMSEP}{SD}\right)^2$$

mit SD = Standardabweichung der Messwerte

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - P_i)^2}{n}}$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^{n} (O_i)} 100 \%$$

Während für RMSEP und PBIAS der Wert 0 das Optimum darstellt, ist für r² und NSE das Optimum der Wert 1. Als Maß für die Vorhersagegüte ist der Nash-Sutcliffe-Koeffizient NSE geeigneter als Pearson r², weil r² nur lineare Zusammenhänge evaluiert, nicht aber, wie gut die Messwerte tatsächlich getroffen werden (vgl. Legates und McCabe, 1999).

Der Nash-Sutcliffe-Koeffizient NSE wird auf die gleiche Weise berechnet wie das Bestimmtheitsmaß R^2 bei einer Regression. Während R^2 jedoch gemessene und gefittete Werte vergleicht, vergleicht NSE gemessene und vorhergesagte Werte. NSE kann daher auch negativ werden.

PBIAS dient hauptsächlich dazu, systematische Abweichungen zwischen gemessenen und vorhergesagten Werten aufzudecken. RMSEP ist bereits als Komponente in NSE enthalten. Das wichtigste der vier Gütemaße ist nach Meinung der Autoren NSE.

3.3.1.2 Multiple lineare Regression (MLR)

Multiple lineare Regression ist ein statistisches Verfahren, um mittels einer mathematischen Funktion die beobachtete Zielvariable durch mehrere unabhängigen Variablen zu erklären.

Hierdurch steht sie im Gegensatz zu den in der CART-Analyse verwendeten Regression Trees, die nicht mit Funktionen, sondern auf Varianzbasis arbeiten.

Komplementär zur Analyse mit CART wurde der VFS-Testdatensatz ebenfalls mittels multipler linearer Regression (MLR) ausgewertet. Hierzu wurde das in R implementierte knoell-Tool auto_lm verwendet. Das Tool hat folgende Funktionalitäten:

- ▶ beliebige Transformationen der abhängigen Variablen (Zielvariable)
- beliebige Transformationen der unabhängigen Variablen (erklärende Variablen)
- automatisches Durchrechnen aller auftretenden Kombinationen der (untransformierten oder transformierten) unabhängigen Variablen

Die MLR wurde mit folgenden Einstellungen für die Zielvariablen ΔQ und ΔE durchgeführt (alle Variablen sind im vorhergehenden Abschnitt zu CART erläutert):

- ► Transformationen der abhängigen Variablen (Zielvariablen): y, ln(y)
- ► Transformationen der unabhängigen Variablen: x, ln(x), x ln(x), x-0,.5, x0,5, x2, x3
- Anzahl der unabhängigen Variablen pro Gleichung: 4 oder 5
- Liste der verfügbaren unabhängigen Variablen für die Zielvariable ΔQ:
 Es werden nicht alle verfügbaren unabhängige Variable gewählt, sondern wie zuvor genannt,
 4 bis 5 pro Gleichung.
- ► Variante 1: Bodenabtrag vom Feld, Tongehalt Oberboden Feld, Pufferstreifenbreite, Pufferstreifenfläche und gesamter Zufluss in den VFS (absolut in m³) (Ei_kg, percClay, VL_m, striparea_m2, Qi_m3)
- ► Variante 2: wie Variante 1, aber Flächennormierung des Gesamtzuflusses in den VFS Q_i (Ei_kg, percClay, VL_m, striparea_m2, Qi_m3_m2)
- ► Variante 3: Bodenabtrag vom Feld, Tongehalt Oberboden Feld, OM-Gehalt Oberboden Feld, Pufferstreifenbreite, Pufferstreifenflächen und gesamter Zufluss in den VFS (absolut in m³) (Ei_kg, percClay, percOM, VL_m, striparea_m2, Qi_m3)
- Variante 4: wie Variante 3, aber Flächennormierung des Gesamtzuflusses in den VFS Qi (Ei_kg, percClay, percOM, VL_m, striparea_m2, Qi_m3_m2)
- Liste der verfügbaren unabhängigen Variablen für die Zielvariable ΔE:
 Es werden nicht alle verfügbaren unabhängige Variable gewählt, sondern wie zuvor genannt,
 4 bis 5 pro Gleichung.
- ► Variante 1e: Bodenabtrag vom Feld, Tongehalt Oberboden Feld, Pufferstreifenbreite, Pufferstreifenflächen, gesamter Zufluss in den VFS (absolut in m³) und relative Reduktion des gesamten Zuflusses (Run-on + Niederschlag) durch den VFS (Ei_kg, percClay, VL_m, striparea_m2, Qi_m3, dQ_perc)

► Variante 2e: Bodenabtrag vom Feld, Tongehalt Oberboden Feld, Pufferstreifenbreite, Pufferstreifenflächen, gesamter Zufluss in den VFS auf die Fläche bezogen und relative Reduktion des gesamten Zuflusses (Run-on + Niederschlag) durch den VFS (Ei_kg, percClay, VL_m, striparea_m2, Qi_m3_m2, dQ_perc)

In einigen Studien war der Niederschlag gleich Null, was zu Problemen mit den Transformationen geführt hätte und auch für die Regression nicht sinnvoll gewesen wäre. Deshalb wurde, im Gegensatz zu CART, für die MLR ausschließlich der Gesamtzufluss Q_i statt des einströmenden Oberflächenabflusses V_i und des Niederschlags precip_mm verwendet.

Auf eine Auswertung mittels MLR für die Zielvariable ΔP (relative Reduktion der Wirkstoff-Fracht) wurde verzichtet, weil hierfür bereits mehrere multiple Regressionsgleichungen entwickelt und vollumfänglich getestet wurden (Sabbagh et al., 2009, Chen et al., 2016; Reichenberger et al., 2019).

3.3.1.3 Box- und Scatterplots

Zusätzlich zur statistischen Auswertung mit CART und MLR wurde auch eine visuelle Auswertung der VFS-Daten vorgenommen. Analog zu Reichenberger et al. (2007), wo für 277 Datenpunkte die Reduktion der Wirkstoff-Fracht (ΔP) in Abhängigkeit von der Pufferstreifenbreite (VL_m) in einem Boxplot aufgetragen wurde (siehe Abbildung 9), wurden hier die gemessenen Werte von ΔQ , ΔE und ΔP gegen die Pufferstreifenbreite (VL_m) und den auf die Pufferstreifenfläche normierten Gesamtzufluss (Qi_mm) aufgetragen. Es wurden sowohl Box- als auch Scatterplots (x-y-Diagramme) erstellt (Abbildungen 11-16). Box- und Scatterplots sind komplementär. Boxplots erlauben einen schnellen Vergleich der Verteilungen verschiedener Klassen oder Datensätze und ermöglichen so eine leichtere Interpretation der Daten, während Scatterplots einen genaueren Blick auf einzelne Datenpunkte ermöglichen. In den Boxplots wurden Box und Whiskers folgendermaßen definiert:

► Box: Interquartilbereich (25.-75. Perzentil)

Whiskers: 5.-95. Perzentil

3.3.1.4 Auswertung der Filterstreifenvarianten

Zur Untersuchung der Wirksamkeit zweier schmalerer Filterstreifen (einer in der Mitte des Feldes, der andere am unteren Feldrand) im Vergleich zu einem breiteren Filterstreifen am Feldrand wurden Rohdaten aus der Dissertation von Lecomte (1999) analysiert, wo in der Saison 1996/1997 zwei solche Varianten untersucht und verglichen wurden:

► Ungeteilter Filterstreifen: 54 m Weizen + 6 m VFS

► Geteilter Filterstreifen: 27 m Weizen + 3 m VFS + 27 m Weizen + 3 m VFS

Die Variablen ΔQ , ΔE und ΔP wurden für beide Varianten ausgerechnet und anschließend miteinander verglichen.

3.3.2 Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung

Die Datenlagen zu den konservierenden Maßnahmen im Feld sind wie in Kapitel 3.2 beschrieben heterogen. Im Vergleich zu den grasbewachsenen Filterstreifen liegen wesentlich weniger Datensätze für die einzelnen konservierenden Maßnahmen im Feld vor. In Abhängigkeit von der

zeitlichen Auflösung und der Qualität der Daten erfolgte die Auswertung anhand von Box- und Scatterplots oder der Berechnung der Curve Number (CN) für ereignisbezogene Ergebnisse.

Für die Plotdatenbank von Maetens et al. (2012) wurde zuerst versucht, basierend auf den Informationen zur Art der Maßnahmen (Variablen SWCT (Soil and Water Conservation Technique) und *SWCT description*), die Daten in die in Kapitel 2.3. definierten Maßnahmenkategorien Mulchsaat und Direktsaat (siehe Tabelle 2) einzuteilen. Damit wurde die neue Variable *category_UBA* erzeugt. Mulchsaat ist in der Plotdatenbank nicht als SWCT Variable definiert. Datenpunkte mit Variable SWCT = "no-tillage" wurden zu *category_UBA* = "Direktsaat" eingeordnet. Datenpunkte mit SWCT = "conservation tillage" wurden entweder zu *category_UBA* = "Mulchsaat" oder zu der Restkategorie "conservation tillage" zugeordnet. Datenpunkte mit SWCT = "cover crop" wurden dann zu "Mulchsaat" oder "Direktsaat" zugeordnet, wenn es klar war, dass die Zwischenfrucht unabdingbarer Teil eines Mulchsaat- bzw. Direktsaatverfahrens war.

Zudem wurden einige Datenpunkte unter SWCT = "Mulching" geführt. Die in Maetens et al. (2012) genannte Definition für Mulching entspricht dem deutschen Mulchen (AID 2015) und kann nicht der Mulchsaat gleichgesetzt werden. Die Datenpunkte betrafen nur Dauerkulturen und wurden entweder a) der Kategorie "Bodenbedeckung in Dauerkulturen erhöhen" zugeteilt oder b) konservativ in die Restkategorie "conservation tillage" verschoben.

Als Ergebnis der Zuordnung enthält die Variable *category UBA* hauptsächlich die Maßnahmen Direktsaat (alle Datensätze *no tillage*, Teile der Datensätze *cover crop*), Mulchsaat (Teile der Datensätze *conservation tillage*, *cover crop* und *mulching*) und als Restkategorie *conservation tillage* (Teile der Datensätze *conservation tillage* und *mulching*). Unter der Variable *conservation tillage* in der *category UBA* fallen die Maßnahmen der Plotdatenbank, die sich nicht eindeutig zuordnen ließen, d.h. die Maßnahme lag zwischen keiner Bodenbearbeitung und wendender Bodenbearbeitung. Anstelle der Bezeichnung "*conservation tillage*" wird in der Auswertung diese (Rest-)Kategorie als "konservierende Bodenbearbeitung, nicht genau spezifiziert" geführt.

Datensätze zur Konturbearbeitung und Streifensaat wurden gemäß der Zuordnung in der Plotdatenbank von Maetens et al. (2012) auch für die Variable *category UBA* übernommen.

Bei unsicherer Einordnung von Datenpunkten in *category_UBA* wurden zwei Optionen getestet. Datenpunkte mit Einordnung "eventuell Mulchsaat" oder "eventuell "Bodenbedeckung in Dauerkulturen erhöhen"" wurden a) Mulchsaat "Bodenbedeckung in Dauerkulturen erhöhen" zugeteilt, oder b) konservativ in die Restkategorie "*conservation tillage*" verschoben. Nach umfangreicher Abwägung wurde entschieden, die weniger konservative Variable a) zu verwenden, um die Anzahl der verfügbaren Datenpunkte nicht noch mehr einzuschränken.

Wendende Bodenbearbeitung mit Pflug ist in der Plotdatenbank von Maetens et al. (2012) als "conventional tillage" geführt. Insgesamt wurden damit die in der Praxis relevanten Anbautechniken im Ackerbau gemäß der Einteilung des Statistischen Bundesamts in die drei Gruppen konventionelle Bodenbearbeitung, konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaatverfahren (Destatis 2017) abgebildet.

Wie bereits in 3.3.1 beschrieben, ist die Zuordnung der Maßnahmen aus Mangel an Informationen in den einzelnen Studien mit Unschärfen behaftet. So wurden zum Beispiel nur vereinzelt Angaben zur Bodenbedeckung zum Zeitpunkt der Saat und im Verlauf der Anbauperiode gemacht, was bedeutet, dass für die zentrale Größe, der Art oder Ausgestaltung der Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung, keine Information vorliegt.

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Der weitaus größte Anteil der 3875 Einträge in der Plotdatenbank bestand aus wendender Bodenbearbeitung. Es konnten jedoch nur die Einträge verwendet werden, für die es möglich war, Paare von Minderungsmaßnahme und Kontrolle (wendender Bodenbearbeitung) zu bilden, d.h. Standort, Landnutzungstyp und Versuchszeitraum mussten identisch sein. Für die originale Variable SWCT wurden 260 Paare erhalten, für die neue Variable *category_UBA* 288.

Für die gebildeten Paare wurde das Verhältnis von Runoff-Volumen mit Maßnahme zu Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff Ratio) sowie das Verhältnis von Bodenabtrag mit Maßnahme zu Bodenabtrag ohne Maßnahme (Soil Loss Ratio) ermittelt. Anschließend wurden Box- und Scatterplots für die o.g. Zielvariablen Runoff Ratio und Soil Loss Ratio erstellt, sowohl für a) die mittels der unabhängigen Variable SWCT als auch für b) die mittels der unabhängigen Variable category_UBA gebildeten Paare.

In den Boxplots wurden Box und Whiskers wie bei den grasbewachsenen Filterstreifen definiert (Box: Interquartilbereich 25.-75. Perzentil, Whiskers: 5.-95. Perzentil).

Ereignisbasierte Untersuchungen konservierender Maßnahmen im Feld liegen wie in Kapitel 3.2 beschrieben mit der Dissertation von Erlach (2005) vor. Die Studie enthält ereignisbasierte Daten für Direktsaat, Mulchsaat und wendende Bodenbearbeitung (Pflug) über einen Zeitraum von fünf Jahren (1998-2002) an einem Standort. Die Messperioden umfassten jeweils die runoffanfälligsten Entwicklungsstadien der untersuchten Kulturen mit geringer Bodenbedeckung: Mitte Mai bis Ende Juli für Mais, Mitte August bis Mitte Oktober für Winterraps und Mitte Oktober bis Ende März für Winterweizen. In der Auswertung der Daten dieser Studie wurden für jede Variante und jedes Runoffereignis die Curve Numbers an die gemessenen Oberflächenabflussdaten angepasst (vgl. USDA-NRCS, 2004). Weitere Erläuterungen dieser Methode finden sich im folgenden Abschnitt (3.3.3 Querdämme auf dem Feld).

Hinsichtlich des Effektes konservierender Maßnahmen im Feld auf den Wirkstoffaustrag wurde neben der Dissertation von Erlach (2005) mit ereignisbezogenen Daten die Arbeiten von Dönges (2012) und Fawcett et al. (1994), die sich auf ein Jahr bzw. die Anbausaison beziehen, ausgewertet.

Dönges (2012) wertete insgesamt 15 Studien aus dem Zeitraum 1984 bis 2011 hinsichtlich der Wirkung unterschiedlicher konservierender Maßnahmen im Feld auf den Wirkstoffaustrag über Runoff und Erosion aus. Die in Dönges (2012) zusammengefassten Originalstudien wurden auf Nachvollziehbarkeit der von Dönges (2012) zusammengetragenen Werte geprüft. Für die weiteren Auswertungen konnten nur aus vier von 15 Studien plausibel eingestufte Daten herangezogen werden.

Fawcett et al. (1994) werteten zehn Studien aus dem Zeitraum 1967 bis 1991 zum Einfluss von konservierender (nicht wendender) Bodenbearbeitung auf den Wirkstoffaustrag über Runoff und Erosion aus. Bei der Zusammenstellung des Wirkstoffaustragsverhältnisses unterschieden Fawcett at al. (1994) zwischen den beiden Obergruppen "künstliche Niederschläge" und "natürliche Niederschläge". Für die Gruppe "künstliche Niederschläge" standen 98, für die Gruppe "natürliche Niederschläge" 65 Werte des Wirkstoffaustragsverhältnisses (aus jeweils fünf Studien) hinsichtlich unterschiedlicher Maßnahmen und Wirkstoffe für die Auswertung zur Verfügung. Die Rohdaten zu diesem Review waren nicht verfügbar und konnten daher nicht auf Plausibilität geprüft werden.

Die Effekte der Maßnahmen auf den Wirkstoffaustrag (Dönges 2012, Fawcett et al 1994) wurden analog zu den Effekten auf Runoff und Erosion (Maetens et al. 2012) über das Verhältnis "Gesamtwirkstoffaustrag bei Anwendung einer Maßnahme" zum "Gesamtwirkstoffaustrag bei

wendender Bodenbearbeitung" gebildet (*pesticide loss ratio*, Wirkstoffaustragsverhältnis) und in Boxplots mit der Definition von Box und Whiskers analog zu den VFS-Daten (Box: Interquartilbereich: 25.-75. Perzentil, Whiskers: 5.-95. Perzentil) dargestellt.

3.3.3 Querdämme auf dem Feld

Die Auswertung der Daten zur Wirksamkeit von Querdämmen auf dem Feld hinsichtlich der Reduktion des Oberflächenabflusses erfolgte ereignisbasiert durch das Fitten von Runoff Curve Numbers (USDA-NRCS, 2004) an die gemessenen Oberflächenabflussdaten, für jeweils Querdammvariante und Kontrolle. Die Methode der Curve-Number-Berechnung ist in Sittig et al. (2020; Gl. 1-4) ausführlich beschrieben. Ferner wurden die für die Querdämme und die Kontrolle gemessenen Erosions- und Wirkstoff-Austräge für jedes Ereignis miteinander verglichen. Von den fünf Studien mit Querdämmen für Kartoffeln aus Sittig et al. (2020) wurden vier als geeignet für das Fitten von Curve Numbers befunden. In der Studie von Goffart et al. (2013) wurden nur die für die gesamte Anbausaison summierten Werte berichtet; die Studie wurde deshalb hier nicht zum Fitten von CN verwendet (siehe Tabelle 20).

Wie schon in Bach et al. (2017) angemerkt, ist die Anwendung des Curve-Numbers-Ansatzes auf Feld- oder gar Plotskala für Oberflächenabfluss eigentlich nicht vorgesehen, weil der Ansatz ursprünglich für den Direktabfluss nach Starkniederschlägen (*direct runoff* = Gesamtabfluss minus Basisabfluss) aus Kleineinzugsgebieten in Gewässer entwickelt wurde (USDA-SCS, 1972). Der Curve Number-Ansatz ist jedoch genau so, d.h. für Oberflächenabfluss, in regulatorischen Modellen zum Umweltverhalten von PSM wie PRZM und PELMO implementiert. In diesen Modellen wird daher die Curve Number parametrisiert, um den Effekt von Minderungsmaßnahmen im Feld auf den Oberflächenabfluss abbilden zu können.

Es ist zu beachten, dass sich bei einer Änderung der Curve Number nicht nur das Runoffvolumen, sondern auch die Schwelle für die Auslösung von Runoff ändert. Mit größerer Curve Number ist ein geringeres Regenereignis nötig, um Runoff auszulösen (Abbildung 3). Wenn ein Niederschlagsereignis keinen Runoff auslöst, lässt sich die Curve Number nicht berechnen. Man kann aber immerhin eine Ungleichung für die Curve Number angeben (d.h. die Curve Number muss kleiner gewesen sein als die Curve Number, bei der durch die gegebene Niederschlagsmenge gerade Runoff ausgelöst wird).

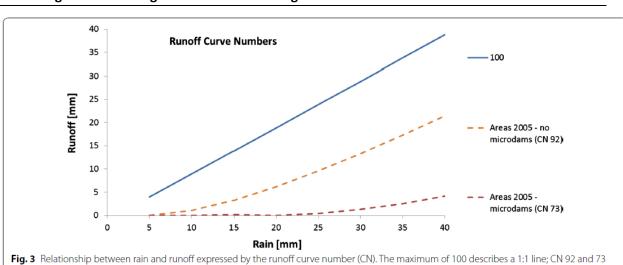


Abbildung 3: Beziehung zwischen Niederschlag und Runoff für unterschiedliche Curve Numbers

Fig. 3 Relationship between rain and runoff expressed by the runoff curve number (CN). The maximum of 100 describes a 1:1 line; CN 92 and 7 are examples from one of the trials under investigation (Areas, 2005)

Quelle: Sittig S, Baets D, Sur R (2020b)

3.4 Ergebnisse der Quantifizierung der Wirksamkeit der Maßnahmen

In Kürze

In diesem Kapitel werden die ausgewählten Maßnahmen der in Kapitel 3.1 genannten Maßnahmengruppen grasbewachsenen Filterstreifen, Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung und Veränderung der Oberflächenstruktur des Bodens quantitativ ausgewertet. Neben den grasbewachsenen Filterstreifen handelt es sich insbesondere um Mulchsaat, Direktsaat und weitere runoff- und erosionsreduzierende Maßnahmen sowie die Anlage von Querdämmen. Die Auswertung erfolgt auf Basis verschiedener publizierter statistischer Methoden (z.B. Box- und Scatterplots oder multiple lineare Regressionen). Dabei bestätigte sich im Prinzip die Einschätzung der befragten Fachleute, dass Filterstreifen (kulturunabhängig), aber auch Querdämme eine messbare Reduktion von Runoff, Erosion und Wirkstoffaustrag bewirken. Die konservierenden Maßnahmen im Feld (z.B. Mulchsaat, Direktsaat) lieferten ausgesprochen variable Ergebnisse, bei denen man den Erfolg der jeweiligen Maßnahme nicht am Median des Effekts nachweisen konnte und die dementsprechend von den genauen Bedingungen vor Ort und der jeweiligen Ausgestaltung abhängen.

3.4.1 Grasbewachsene Filterstreifen (Vegetated Filter Strips, VFS)

Mit der statistischen Auswertung der Datensätze zur Runoff- und Erosionsminderung durch grasbewachsene Filterstreifen mit CART, MLR sowie Box- und Scatterplots sollen universelle Zusammenhänge zwischen unabhängigen Variablen, insbesondere der Filterbreite, und dem Reduktionspotential hinsichtlich Runoff, identifiziert werden. Wenn möglich sollen daraus Regeln für die quantitative Risikobewertung abgeleitet werden.

3.4.1.1 CART

Die CART-Analyse wurde, wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben, jeweils für die Zielvariablen relative Reduktion des Gesamtzuflusses durch den VFS (ΔQ), relative Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials (ΔE) und relative Reduktion der PSM-Fracht (ΔP) und den in den Datensätzen verfügbaren unabhängigen Variablen durchgeführt. Für die unabhängigen Variablen Qi (Gesamtzufluss in den VFS), Vi (in den VFS einströmender Oberflächenabfluss) und E_i (Bodenabtrag vom Feld) wurden jeweils vier Varianten geprüft. Zudem wurden die CART-Parameter Mindestgröße der Klassen (minsplit; Wertebereich 3-40), Komplexitätsparameter (cp; Wertebereich 1,0 x 10⁻⁵ bis 1,0 x 10⁻³ und die Fraktion der Daten, die für das Training benutzt werden (splitRatio; Wertebereich 0,67-0,75) variiert. Insgesamt wurden 344 Regression-Tree-Analysen (Runs) durchgeführt. Die Ergebnisse für die jeweils besten Runs der vier Varianten sind in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt. Da anders als bei Random Forest bei der CART-Analyse mehrere CART-Parameterkombinationen untersucht werden, um den besten Baum zu finden, wird im Folgenden der beste NSE-Wert zur Beschreibung herangezogen. In Tabelle 4 sind die Maße für die Vorhersagegüte der jeweils besten CART-Runs für VFS dokumentiert. Tabelle 7 zeigt die relative Wichtigkeit der unabhängigen Variablen für die Zielvariablen (ΔQ), (ΔE) und (ΔP) basierend auf dem jeweils besten CART-Run.

Tabelle 4: Maße für die Vorhersagegüte der jeweils besten (bezogen auf die Vorhersagegüte mit den Parameter NSE) CART-Runs für VFS

Zielvariable	Variante*	splitRatio	minsplit	ср	RMSE	NSE	r²	PBIAS
ΔQ	1	0,7	12	1,00E-05	13,713	0,606	0,649	4,531
ΔQ	2	0,7	20	1,00E-05	16,897	0,401	0,427	-0,153
ΔQ	3	0,7	12	1,00E-05	13,723	0,605	0,649	4,531
ΔQ	4	0,7	20	1,00E-05	16,897	0,401	0,427	-0,153
ΔΕ	1	0,7	38	1,00E-05	10,927	0,453	0,554	4,975
ΔΕ	2	0,7	35	1,00E-05	10,927	0,453	0,554	4,975
ΔΕ	3	0,7	38	1,00E-05	10,927	0,453	0,554	4,975
ΔΕ	4	0,7	35	1,00E-05	10,927	0,453	0,554	4,975
ΔΡ	1	0,7	3	1,00E-04	9,769	0,776	0,807	2,166
ΔΡ	2	0,7	20	1,00E-05	10,22	0,754	0,76	1,001
ΔΡ	3	0,7	3	1,00E-04	9,769	0,776	0,807	2,166
ΔΡ	4	0,7	3	1,00E-04	10,164	0,757	0,774	1,537

^{*} Variante 1: Q_i, V_i, E_i nicht normiert; Variante 2: Q_i, V_i, E_i normiert auf die Fläche des VFS; Variante 3: wie Variante 1, aber Q_i nicht verwendet, da es Linearkombination anderer Variablen darstellt: Qi_L = Vi_L + precip_mm * striparea_m2; Variante 4: wie Variante 2, aber Q_i nicht verwendet, da Linearkombination anderer Variablen: Qi_L_m2striparea = Vi_L_m2striparea + precip_mm

Tabelle 5: Relative Wichtigkeit (%) der unabhängigen Variablen¹⁾²⁾ für die Zielvariablen basierend auf den jeweils besten CART-Run (Erläuterung der Variablen siehe Kapitel 3.3.1). Grün hinterlegte Spalte zeigt Ergebnisse für die unabhängige Variable "Länge des Filterstreifens in Fließrichtung" (Filterstreifenbreite, VL_m)

Ziel- variable	Variante*	percOM	precip_mm	percClay	striparea_m2	VL_m	dQ_perc	dE_perc	LN_Fph_1	Koc_L_kg	Kd_L_kg	Vi_L	Vi_L_m2 striparea	Ei_kg_m2 striparea	Qi_L_m2 striparea	Ei_kg	Qi_L
ΔQ	1	10	11	12	7	5	NA	NA	NA	NA	NA	23	NA	NA	NA	21	11
ΔQ	2	13	11	10	11	2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	23	20	9	NA	NA
ΔQ	3	11	12	13	9	6	NA	NA	NA	NA	NA	25	NA	NA	NA	23	NA
ΔQ	4	14	12	10	12	5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	24	22	NA	NA	NA
ΔΕ	1	3	0	6	12	9	66	NA	NA	NA	NA	3	NA	NA	NA	NA	1
ΔΕ	2	2	0	5	9	6	50	NA	NA	NA	NA	NA	12	7	9	NA	NA
ΔΕ	3	3	0	6	12	9	66	NA	NA	NA	NA	3	NA	NA	NA	0	NA
ΔΕ	4	2	NA	5	10	6	55	NA	NA	NA	NA	NA	13	8	NA	NA	NA
ΔΡ	1	1	3	2	2	7	34	22	5	2	2	7	NA	NA	NA	7	7
ΔΡ	2	3	3	2	1	7	35	23	3	1	1	NA	8	10	4	NA	NA
ΔΡ	3	3	3	2	2	7	35	23	7	2	2	7	NA	NA	NA	8	NA
ΔΡ	4	3	3	2	2	7	33	22	7	2	2	NA	8	11	NA	NA	NA

¹⁾ Wichtigste Variable in **fett**, zweitwichtigste in *kursiv* dargestellt. Die Summe der relativen Wichtigkeit über eine Zeile ergibt 100. NA = *not applicable*

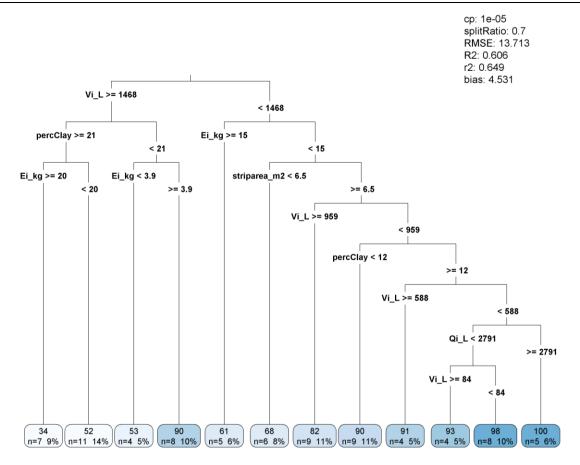
²) ΔQ relative Reduktion des gesamten Zuflusses (Run-on + Niederschlag) durch den VFS), ΔE Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials, ΔP relative Reduktion der Wirkstoff-Fracht, Vi_L_m2striparea in den VFS einströmender Oberflächenabfluss (auf die Fläche des VFS normiert, in L m⁻² = mm), Ei_kg_m2 striparea Bodenabtrag vom Feld, percOM OM-Gehalt Oberboden Feld, precip_mm Niederschlag, percClay Tongehalt Oberboden Feld, striparea_m2 Fläche des VFS, VL_m Pufferstreifenbreite, dQ_perc Reduktion des Oberflächenabflusses, dE_perc Reduktion des Erosionsereignisses, LN_Fph_1 transformierter Verteilungskoeffizient zwischen gelöster und partikelgebundener Phase , Koc_L_kg Sorptionskoeffizient normiert auf OC, Kd_L_kg linearer Sorptionskoeffizient der Substanz im Boden, Qi_L_m2 Zufluss in den VFS (Run-on + Niederschlag), striparea Fläche des VFS, Vi_L in den VFS einströmender Oberflächenabfluss (Run-on, absolut in Liter), Ei_kg Bodenabtrag vom Feld (Masse des aus dem Feld ausgetragenen erodierten Bodenmaterials), Qi_L gesamter Zufluss in den VFS (Run-on + Niederschlag). * Variante 1: Qi, Vi, Ei nicht normalisiert; Variante 2: Qi, Vi, Ei normiert auf die Fläche des VFS; Variante 3: wie Variante 1, aber Qi nicht verwendet, da es Linearkombination anderer Variablen darstellt: Qi_L = Vi_L + precip_mm * striparea_m2; Variante 4: wie Variante 2, aber Qi nicht verwendet, da Linearkombination anderer Variablen: Qi_L_m2striparea + precip_mm

Für die Zielvariable ΔQ (relative Reduktion des gesamten Zuflusses (Run-on + Niederschlag) durch den VFS) lassen sich die Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- ΔQ lässt sich generell aus den unabhängigen Variablen mäßig gut vorhersagen (bester NSE = 0,61; Abbildung 4 und Tabelle 6)
- Mit den nicht normierten Variablen Q_i, V_i, E_i (Varianten 1 und 3) werden bessere Vorhersageergebnisse für ΔQ erzielt als mit auf die Fläche des VFS normierten Werten (Varianten 2 und 4). Für letztere Varianten wurde nur ein NSE von 0,4 erreicht (Tabelle 4).
- ▶ Optimum der Vorhersagegüte liegt bei einer Mindestgröße der Klassenteilung von minsplit = 12 (für die Varianten 1 und 3 mit dem besten Vorhersageergebnis für ΔQ).
- Nichtverwendung der kollinearen Variable Q_i (gesamter Zufluss in den VFS (Run-on + Niederschlag), siehe Kapitel 3.3.1) beeinflusst die Qualität der Vorhersage von ΔQ nicht (Tabelle 6). Das heißt, Q_i wird als unabhängige Variable für den Entscheidungsbaum nicht benötigt (Variante 3 und 4 im Vergleich zu Variante 1 und 2). Die Bedeutung von Q_i lässt sich dann ableiten aus den relativen Wichtigkeiten der Bestandteile Run-on (V_i), Pufferstreifenfläche (striparea_m2) und Niederschlag (precip_mm).
- In allen vier Varianten sind die wichtigsten unabhängigen Variablen für die Vorhersage von ΔQ der in den VFS einströmende Oberflächenabfluss V_i und der Bodenabtrag vom Feld E_i (Tabelle 5).
- Der Effekt von E_i auf ΔQ ist überraschend, weil die Sedimentfracht die Infiltration in den VFS eigentlich nicht beeinflussen sollte, solange der VFS nicht vollständig mit Sediment gesättigt ist. Möglicherweise verbergen sich in den unabhängigen Variablen nicht enthaltene Einflussfaktoren, d.h. nicht erfasste Variablen oder experimentelle Randbedingungen.

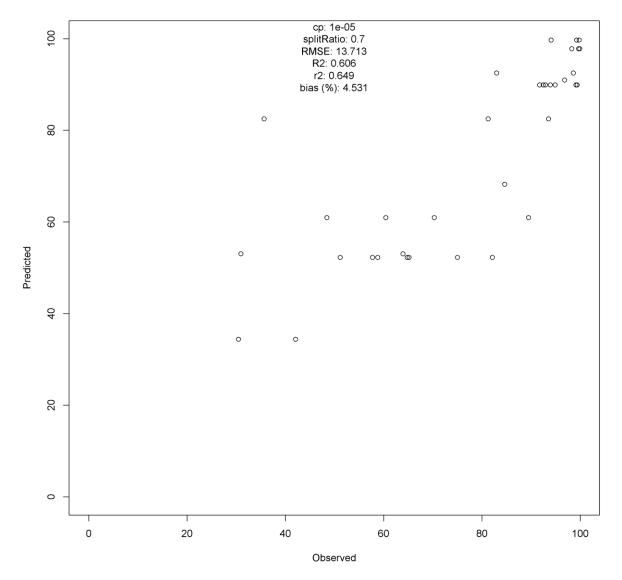
Der Entscheidungsbaum für den besten CART Run für die Zielvariable ΔQ für Variante 1 (siehe Kapitel 3.3.1.1) ist in Abbildung 4 dargestellt. Die unabhängige Variable "Länge des Filterstreifens in Fließrichtung" (Filterstreifenbreite, VL_m) taucht im Entscheidungsbaum nicht auf. Das bedeutet, dass es an jeder Verzweigung mindestens eine andere Variable gibt, die die Klasse besser aufteilt als die Filterstreifenbreite. Auch durch die relative Wichtigkeit von 5 % für die Variable Filterstreifenbreite für Variante 1 wird deutlich (Tabelle 7), dass diese für die Vorhersage von ΔQ keine übergeordnete Rolle spielt. Das Ergebnis gilt für alle geprüften Varianten.

Abbildung 4: Entscheidungsbaum für den besten CART-Run für ΔQ (relative Reduktion des gesamten Zuflusses (Run-on + Niederschlag) durch den VFS), Variante 1 (Q_i, V_i, E_i nicht normalisiert). An jeder Aufteilung (split) wird die unabhängige Variable dargestellt, anhand derer die Klassenaufteilung vorgenommen wurde. Für die endgültigen Klassen am unteren Ende des Baums sind der Klassenmittelwert und die Stichprobenzahl (absolut und auf 100 % normiert) angegeben.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Abbildung 5: Scatterplot (gemessene vs. vorhergesagte Werte) für den besten CART-Run für ΔQ (relative Reduktion des gesamten Zuflusses (Run-on + Niederschlag) durch den VFS), Variante 1 (Q_i, V_i, E_i nicht normalisiert). Die dargestellten Punkte sind diejenigen 30 % der Daten, die nicht für die Erzeugung des Entscheidungsbaums verwendet wurden.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Für die Zielvariable ΔE (Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials) ergab die CART-Analyse Folgendes:

Die Reduktion von ΔE lässt sich für den vorliegenden Testdatensatz von Reichenberger et al (2019) und mit den verfügbaren unabhängigen Variablen (incl. ΔQ) nur schwer vorhersagen (NSE <= 0,453, Tabelle 4 und Abbildung 6).</p>

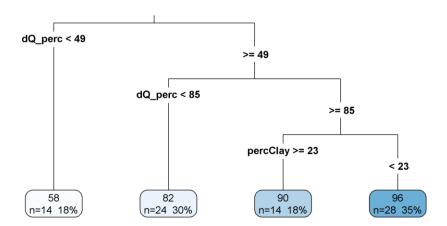
► Es besteht hinsichtlich der Vorhersagegüte kein Unterschied zwischen den vier Varianten (Tabelle 4).

Pflanzenschutzmitteln

- ▶ Die beste Vorhersagegüte (ausgedrückt über den NSE) erhält man mit einem sehr groben Entscheidungsbaum, also mit nur sehr wenigen Splits (minsplit = 35-38, Tabelle 4, Abbildung 6).
- Die mit Abstand wichtigste unabhängige Variable zur Vorhersage von ΔE ist die relative Reduktion des gesamten Zuflusses ΔQ (Tabelle 5). Der entsprechende physikalische Mechanismus ist die Verringerung der Sedimenttransportkapazität im Oberflächenabfluss durch verringertes Abflussvolumen.

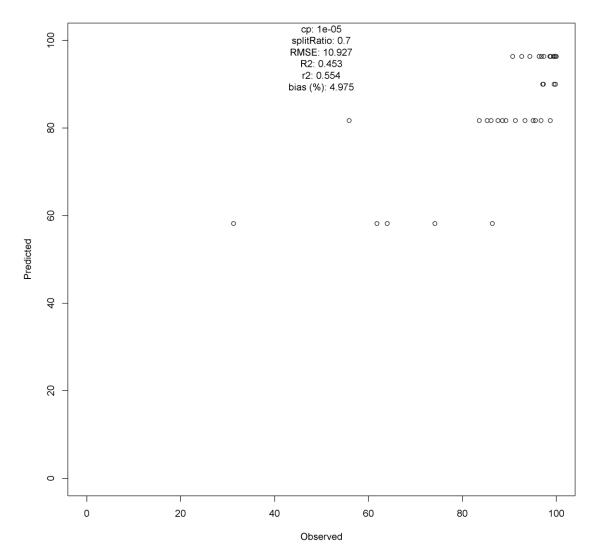
Abbildung 6: Entscheidungsbaum für den besten CART-Run für die Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔΕ, Variante 1

cp: 1e-05 splitRatio: 0.7 RMSE: 10.927 R2: 0.453 r2: 0.554 bias: 4.975



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Abbildung 7: Scatterplot (gemessene vs. vorhergesagte Werte) für den besten CART-Run für die Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔΕ, Variante 1. Die dargestellten Punkte sind diejenigen 30 % der Daten, die nicht für die Erzeugung des Entscheidungsbaums verwendet wurden.



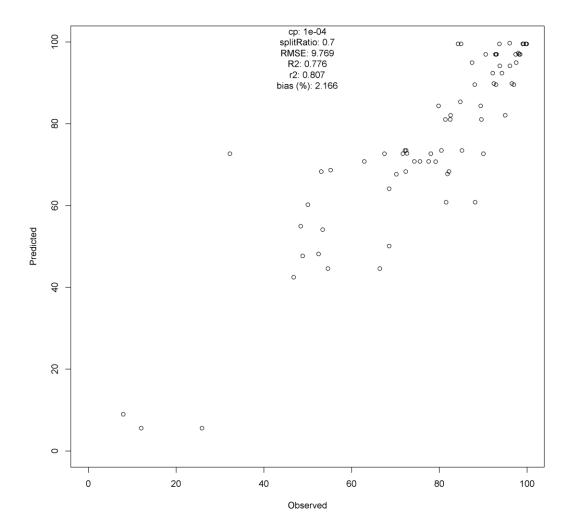
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Die CART-Ergebnisse für die Vorhersage der Zielvariablen ΔP (relative Reduktion der Wirkstoff-Fracht) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

▶ Die relative Reduktion der Wirkstofffracht-Fracht ΔP lässt sich gut vorhersagen (bester NSE = 0,78, Abbildung 8, Tabelle 5). Um die mit CART erzielte Vorhersagegüte für ΔP besser einordnen zu können, soll hier ein Vergleich mit anderen Methoden dienen: Reichenberger et al. (2019) erhielten für den gleichen Testdatensatz einen Bestimmungskoeffizienten von R² = 0,82 mit einer Neuanpassung der multiplen Regressionsgleichung von Sabbagh et al. (2009) und NSE = 0,74 für die Vorhersage mit einem mechanistischen Massenbilanzansatz (Reichenberger et al., 2019, 2017).

- Mit den nicht normierten Variablen V_i , Q_i , E_i werden bessere Ergebnisse als mit auf die Fläche des VFS normierten Werten erzielt (Tabelle 4), dies entspricht dem Vorhersageergebnis für ΔQ .
- Die beste Vorhersage von ΔP wird für einen sehr feinen Entscheidungsbaum (minsplit = 3) erzielt (siehe Abbildung 30 in Anhang B1, Tabelle 5).
- Wie bei der Vorhersage von ΔQ beeinflusst die Nichtverwendung der kollinearen Variable Q_i (gesamter Zufluss in den VFS (Run-on + Niederschlag,) nicht die Qualität der Vorhersage von ΔP (Tabelle 4).
- Die mit Abstand wichtigste Variablen für die Vorhersage von ΔP sind ΔQ und ΔE (Tabelle 5). Dies ist konsistent mit den Ergebnissen von Reichenberger et al. (2019).

Abbildung 8: Scatterplot (gemessene vs. vorhergesagte Werte) für den besten CART-Run für die relative Reduktion der Wirkstoff-Fracht ΔP, Variante 1. Die dargestellten Punkte sind diejenigen 30 % der Daten, die nicht für die Erzeugung des Entscheidungsbaums verwendet wurden.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

3.4.1.2 Multiple lineare Regression (MLR)

Für die Zielvariablen ΔQ (relative Reduktion des gesamten Zuflusses, Run-on + Niederschlag) und die Zielvariable ΔE (Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials) wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse anhand des Testdatensatzes von Reichenberger et al. (2019) durchgeführt. Die besten Ergebnisse der Regressionen basierend auf den verschiedenen Kombinationen von Zielvariablen, einbezogener unabhängiger Variablen und Varianten (Liste potenziell verfügbarer Variablen siehe Kapitel 3.3.1.) sind in Tabelle 33 in Anhang C.1 dargestellt.

Das beste erhaltene Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt für ΔQ 0,498 und für ΔE 0,482. Für ΔE liegt R^2 der MLR mit 0,482 etwas höher als für CART (NSE = R^2 = 0,453). Der CART-Wert bezieht sich allerdings nicht auf die Güte einer Anpassung mittels Regression, sondern auf die Güte einer Vorhersage für unabhängige Daten, was prinzipiell schwieriger ist. Wenn das Bestimmtheitsmaß der Regression nur 0,5 beträgt, sind für eine Vorhersage keine akzeptablen Ergebnisse zu erwarten.

Alle in Tabelle 33 (siehe Anhang C.1) dargestellten Regressionsgleichungen enthalten einen großen bis sehr großen Achsenabschnitt und mindestens einen Regressionskoeffizienten, der physikalisch nicht sinnvoll ist (z.B. eine negative Abhängigkeit von ΔQ von der Pufferstreifenbreite). Das heißt, die verfügbaren unabhängigen Variablen waren nicht in der Lage, die abhängige Variable in physikalisch sinnvoller Weise zu erklären. Trotz der großen Anzahl verfügbarer unabhängiger Variablen, getesteter Transformationen und Permutationen ließen sich ΔQ und ΔE nur ungenügend mit einer durch MLR ermittelten Regressionsgleichung beschreiben. MLR scheint folglich für die Abbildung des vorliegenden, stark nichtlinearen Problems von Infiltration (ΔQ) und Sedimentation (ΔE) in Filterstreifen weniger geeignet zu sein als CART.

Für die Zielvariable ΔP (relative Reduktion der Wirkstofffracht) liegen bereits, wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben, mehrere multiple Regressionsgleichungen vor, die ausführlich getestet wurden (Sabbagh et al., 2009; Chen et al., 2016; Reichenberger et al., 2019). Eine Auswertung für ΔP mit MLR wurde daher nicht erneut durchgeführt. Eine Anpassung an die gemessenen Werte ΔP ist jedoch sehr gut möglich, wenn ΔQ und ΔE bekannt sind. Beispielsweise erhielten Reichenberger et al. (2019) ein Bestimmtheitsmaß von R^2 = 0,82 für die neu gefittete multiple Regressionsgleichung von Sabbagh et al. (2009).

3.4.1.3 Box- und Scatterplots

Zur visuellen Auswertung der VFS-Daten wurden Box- und Scatterplots erzeugt. Die Scatterplots sind im Anhang C.1 zusammengestellt (siehe Abbildung 31 bis Abbildung 37).

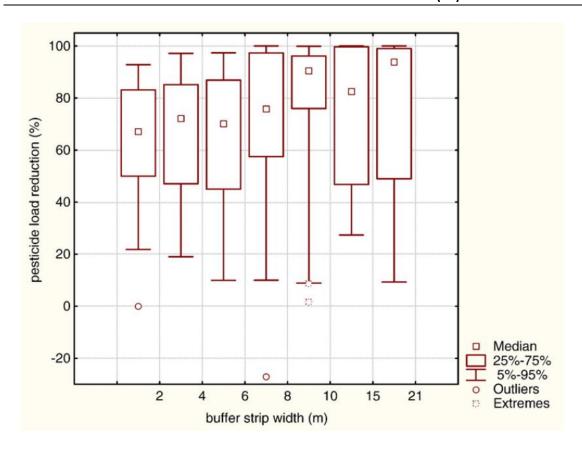
Zum Vergleich sind die häufig zitierten Ergebnisse von Reichenberger et al. (2007) zur relativen Reduktion der Wirkstofffracht ΔP im Verhältnis zur Filterstreifenbreite VL im Boxplot vorangestellt (Abbildung 9).

Für ΔQ , ΔE , ΔP als Funktion der Filterstreifenbreite VL ergibt sich (Abbildungen 10-12):

- ein schwacher Anstieg des Medians von ΔQ bis VL = 20 m, dann starker Abfall
- ein sehr schwacher Anstieg des Medians von ΔE bis VL = 20 m, dann Abfall
- kein deutlicher Zusammenhang für ΔP

- ▶ sehr starke Streuung von ΔQ , ΔE , ΔP , insbesondere für Klassen 2,5 m > VL <= 5 m und VL > 20 m
- ▶ Die Datenpunkte mit VL > 20 m decken nicht die Varianz der Bodeneigenschaften ab, sie stammen aus zwei Studien vom selben Standort.

Abbildung 9: Boxplot aus Reichenberger et al. (2007) für die relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als Funktion der Filterstreifenbreite (VL)

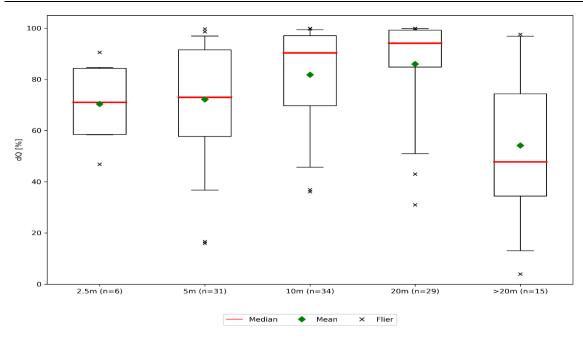


Quelle: Reichenberger et al. (2007)

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

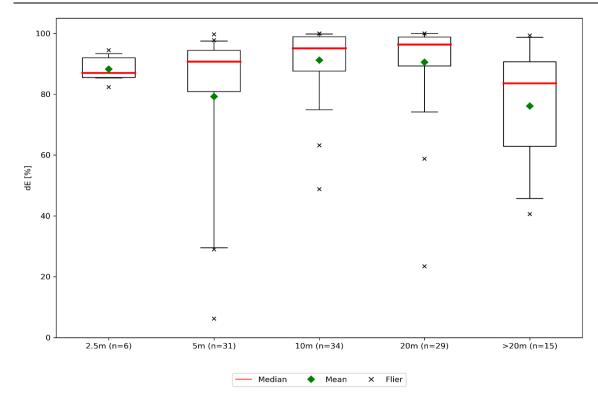
Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Abbildung 10: Boxplot für die relative Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL). Die Breitenklassen sind 0 - 2,5 m, > 2,5 - 5 m, > 5 - 10 m, > 10 - 20 m, und > 20 m.



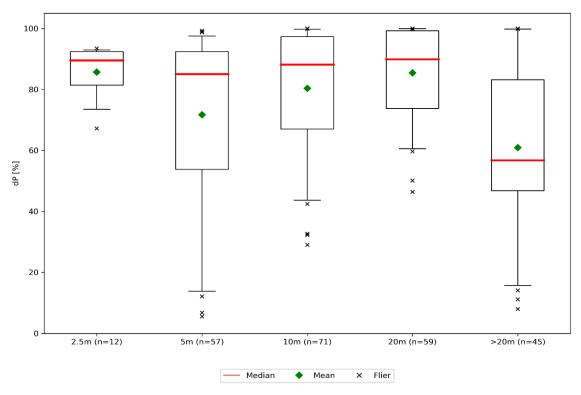
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Abbildung 11: Boxplot für die relative Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔE als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL). Die Breitenklassen sind 0 – 2,5 m, >2,5 - 5 m, >5 - 10 m, >10 - 20 m, und >20 m.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Abbildung 12: Boxplot für die relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL) Die Breitenklassen sind 0 – 2,5 m, >2,5 - 5 m, >5 - 10 m, >10 - 20 m, und >20 m.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Für ΔQ , ΔE , ΔP als Funktion des Gesamtzuflusses Q_i (Run-on + Niederschlag, Abbildungen 13-15) ergibt sich:

- relativ deutlicher Zusammenhang für ΔQ (mit zunehmendem Q_i nimmt ΔQ ab.)
- > schwächerer Zusammenhang für ΔP und insbesondere ΔE mit vielen Ausreißern

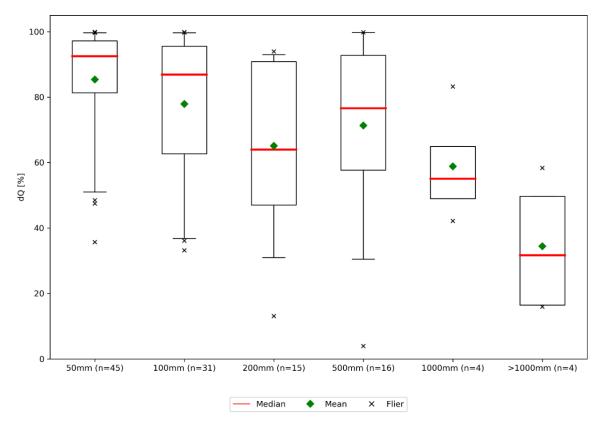
Die Scatterplots von ΔE und ΔP gegen die Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ zeigen einen relativ deutlichen Zusammenhang (siehe Anhang C.1 Abbildung 37) und bestätigen die CART-Analyse, wonach ΔQ die wichtigste erklärende Variable für ΔE und ΔP ist (Tabelle 4).

- ▶ Der Gesamtzufluss Q_i (Run-on + Niederschlag auf den VFS) hat einen höheren Einfluss auf ΔQ als die Pufferstreifenbreite VL.
- ightharpoonup ΔE und ΔP sind besser korreliert mit ΔQ als mit Q_i.

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Abbildung 13: Boxplot für die relative Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ als Funktion des auf die VFS-Fläche normierten Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag). Die Klassen sind 0 – 50 mm, >100 - 200 mm, >200 - 500 mm, >500 - 1000 mm, und >1000 m.

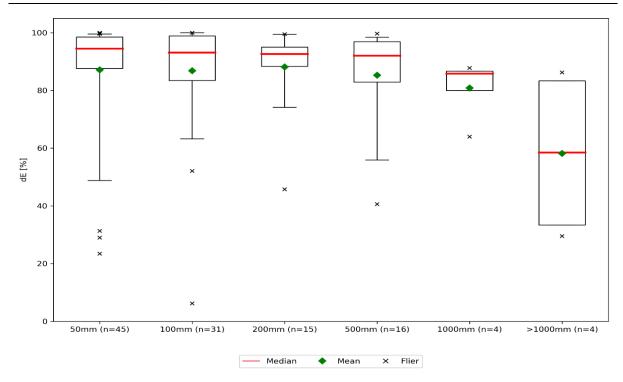


Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

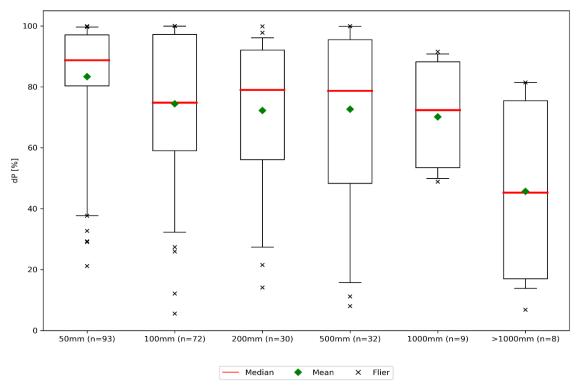
Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Abbildung 14: Boxplot für die relative Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔE als Funktion des auf die VFS-Fläche normierten Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag). Die Klassen sind 0 – 50 mm, >100 - 200 mm, >200 - 500 mm, >500 - 1000 mm, und >1000 m.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Abbildung 15: Boxplot für die relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als Funktion des auf die VFS-Fläche normierten Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag). Die Klassen sind 0 – 50 mm, >100 - 200 mm, >200 - 500 mm, >500 - 1000 mm, und >1000 m.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

3.4.1.4 Filterstreifenvarianten

Für den Vergleich der Wirksamkeit zweier schmalerer grasbewachsener Filterstreifen (VFS, einer in der Mitte des Feldes, der andere am unteren Feldrand) zu einem breiteren Filterstreifen am Feldrand wurden Rohdaten aus der Dissertation von Lecomte (1999) analysiert, wo in der Saison 1996/1997 u.a. zwei solche Varianten untersucht und verglichen wurden:

- ► Ungeteilter VFS: 10 % VFS auf 60 m Länge (54 m Weizen + 6 m VFS, 2. Balken in Abbildung 16)
- ► Geteilter VFS: 10 % VFS (geteilt) auf 60 m Länge (27 m Weizen + 3 m VFS + 27 m Weizen + 3 m VFS, letzter Balken in Abbildung 16)

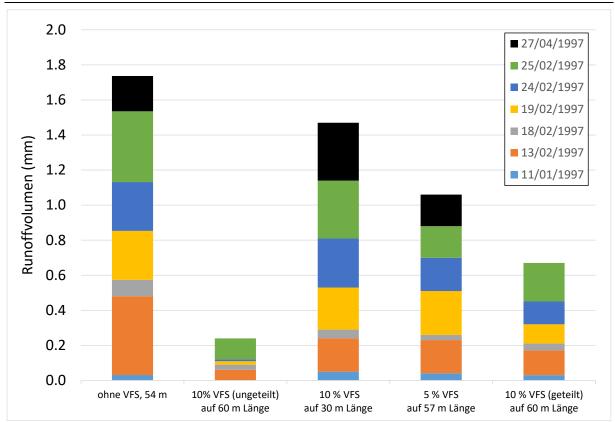
Die obere Hälfte des Hanges war hierbei etwas steiler als die untere (5 % vs. 3,7 % Hangneigung). Beide Varianten waren mit einer relativ groben, volumetrischen Messvorrichtung zur Erfassung des Oberflächenabflusses ausgestattet. Der ungeteilte Filterstreifen verfügte zusätzlich über eine abflussbasierte Messvorrichtung, die z.T. deutlich abweichende Ergebnisse für den Oberflächenabfluss in und aus dem Filterstreifen lieferte. Pflanzenschutzmittel wurden am 27.02.1997 appliziert. In den ersten zwei Monaten nach Applikation der Pflanzenschutzmittel fand kein Oberflächenabfluss statt.

Für den nicht in der Abbildung dargestellten Zeitraum 27.04.1997 bis 30.06.1997 waren zwischen beiden Varianten keine nennenswerten Unterschiede bzgl. der Messgrößen ΔQ , ΔE und ΔP festzustellen. Dies liegt aber daran, dass für 6 von 7 Ereignissen die Auffangbehälter in

beiden Varianten überliefen und in beiden Varianten zum Ereignis am 27.04.1997 der Oberflächenabfluss komplett in den Filterstreifen infiltrierte ($\Delta Q = 100 \%$).

Für den Zeitraum vor der Applikation der Pflanzenschutzmittel am 27.02.1997, für den kein Überlaufen der Auffanggefäße zu verzeichnen war, lieferte der geteilte Filterstreifen jedoch eine etwas geringere Reduktionseffizienz für Oberflächenabfluss als der ungeteilte Filterstreifen (Abbildung 16). Es konnte allerdings nicht geklärt werden, wodurch die Unterschiede verursacht wurden und welchen Einfluss das Hangprofil spielte.

Abbildung 16: Kumulativer Oberflächenabfluss in mm (L m⁻² source area) aus den verschiedenen Filterstreifenvarianten (VFS) von Lecomte (1999) für die Saison 1996/1997 für die Ereignisse ohne Überlaufen der Auffanggefäße.



Quelle: Lecomte V (1999)

Zusammengefasst lässt sich anhand der Ergebnisse von Lecomte (1999) die Frage nicht abschließend beantworten, ob zwei Filterstreifen mit je x m Breite (einer am unteren Feldrand, der andere in der Mitte des Feldes) als äquivalent zu einem Filterstreifen mit zweifacher Breite am unteren Feldrand anzusehen sind.

Hier wäre eine Modellierung z.B. mittels der Tools UH (Muñoz-Carpena and Parsons, 2014) und VFSMOD (Muñoz-Carpena and Parsons, 2014) vermutlich zielführender. UH (von *Unit Hydrograph*) kann für gegebene Niederschlagsregimes synthetische Niederschlagshydrographen und Runoff-Hydrographen erzeugen. Eine Kopplung UH-VFSMOD-UH-VFSMOD für eine Sequenz Feld-VFS-Feld-VFS ist prinzipiell möglich (Rafael Muñoz-Carpena, persönliche Mitteilung).

3.4.1.5 Schlussfolgerungen und Ausblick bezüglich grasbewachsene Filterstreifen (VFS)

Aus den Ergebnissen der unterschiedlichen Analysen (CART und Boxplots) grasbewachsener Filterstreifen basierend auf dem von Reichenberger et al. (2019) zusammengestellten Testdatensatz (n = 244) lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- ▶ Die Filterstreifenbreite (VL) ist nicht zur Vorhersage der relativen Reduktion des gesamten Zuflusses ΔQ (als Oberflächenabfluss vom Feld zu verstehen), der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔE oder der Wirkstofffracht ΔP geeignet. Der Gesamtzufluss Qi (normiert auf die VFS-Fläche) hat einen höheren Einfluss auf die Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ als die Filterstreifenbreite VL. Dies steht im Widerspruch zu den Empfehlungen von FOCUS (2007), die die Filterstreifenbreite als entscheidenden Parameter für die Reduktionswirkung einschätzen und denen die Zulassungspraxis in Deutschland (mit dem Modell Exposit) folgt.
- ΔQ lässt sich mit den vorliegenden unabhängigen Variablen (einströmendes Run-on-Volumen, Fracht erodierten Bodenmaterials, Niederschlag, organische Bodensubstanz und Tongehalt des Feldes etc.) mäßig gut vorhersagen. Ein fixer Reduktionsfaktor in Abhängigkeit einer bestimmten Variablen (z.B. VL oder Qi) ist aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren und der Nichtlinearität der Prozesse nicht sinnvoll.
- ▶ ΔE lässt sich nur schlecht vorhersagen. ΔQ wird für die Vorhersage benötigt.
- \blacktriangleright ΔP hingegen lässt sich gut aus ΔQ und ΔE vorhersagen. Allerdings pflanzen sich Unsicherheiten in ΔQ und ΔE zu ΔP fort.

Das bedeutet, dass eine möglichst exakte, mechanistische Modellierung von Infiltration und Sedimentation im grasbewachsenen Filterstreifen nötig ist, z.B. mit dem Programm VFSMOD (Muñoz-Carpena and Parsons, 2014). Dabei führt die Infiltration zur Reduktion des Gesamtzuflusses (ΔQ), und die Sedimentation zur Reduktion der Sedimentfracht (ΔE).

Die Berechnung von ΔP ist weniger schwierig als die von ΔQ oder ΔE . Für die Vorhersage von ΔP aus ΔQ , ΔE und anderen bekannten Parametern oder Variablen können bestehende Gleichungen (pesticide trapping equations) verwendet werden. Beispiele hierfür sind die neu an den Testdatensatz gefittete ($R^2 = 0.819$) und mittels Kreuzvalidierung und DREAM-Algorithmus (Vrugt, 2016) überprüfte Sabbagh-Gleichung (Reichenberger et al., 2019; Abbildung 17):

$$\Delta P = -11,5142 + 0,5949 \,\Delta Q + 0,4892 \,\Delta E - 0,3753 \ln(F_{nh} + 1) + 0,2039 \,\% C$$

mit

Pflanzenschutzmitteln

%C Tongehalt (%) des Oberbodens des Feldes

 F_{ph} Phasenverteilungskoeffizient (Verhältnis von gelöster zur partikelgebundenen Masse des PSM im einströmenden Runoff; $Fph = Q_i / (K_d * E_i)$

oder der analytische, regressionsfreie mechanistische Massenbilanzansatz von Reichenberger et al. (2019):

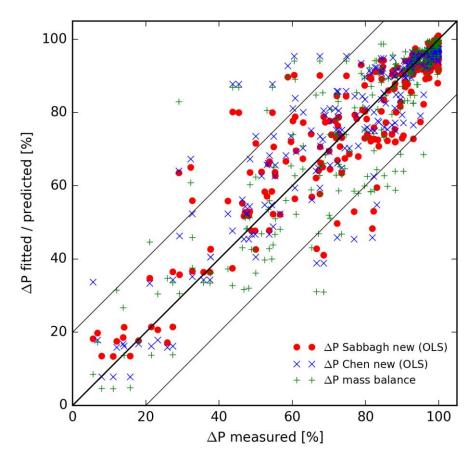
$$\frac{\Delta P}{100 \%} = \frac{\frac{\Delta Q}{100 \%} V_i + \frac{\Delta E}{100 \%} K_d E_i}{V_i + K_d E_i}$$

mit

K_d linearer Sorptionskoeffizient der Substanz an den Boden (L/kg)

Dieser lieferte für den Testdatensatz einen Nash-Sutcliffe-Koeffizienten (NSE) von 0,741 (Tabelle 4 in Reichenberger et al., 2019) und damit eine gute Vorhersage. Das zeigt auch der Scatterplot in Abbildung 17.

Abbildung 17: Gemessene relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP vs. gefittete relative Reduktion der Wirkstofffracht (Sabbagh-und Chen-Gleichungen) und vorhergesagte relative Reduktion der Wirkstofffracht (Massenbilanzansatz) für den Testdatensatz aus Reichenberger et al. (2019) (n= 244).



Quelle: Reichenberger et al. (2019)

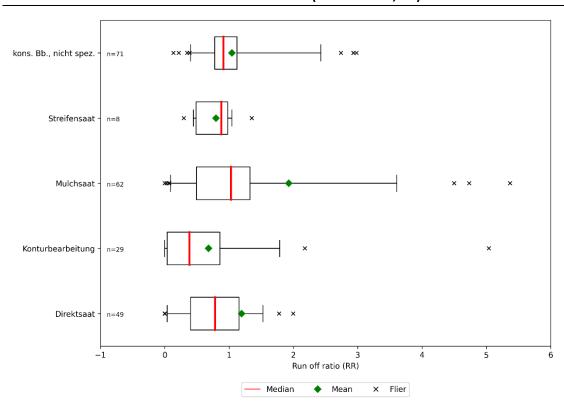
3.4.2 Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung

3.4.2.1 Ergebnisse zur Verminderung von Runoff und Erosion (ohne Messung von PSM-Transport)

Auf Basis der umfangreichen Daten von Maetens et al. (2012) erfolgte die Analyse der Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen im Feld auf die Reduktion von Runoff-Volumen und Bodenabtrag (Erosion) vom Feld.

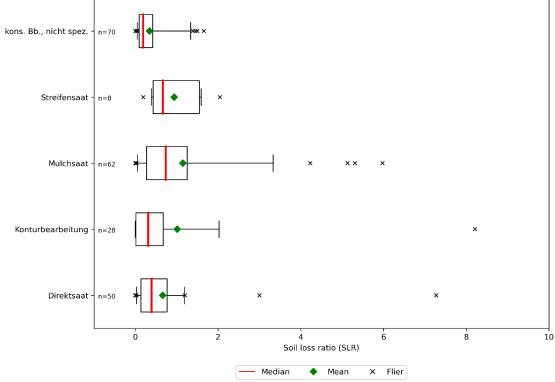
Für die in Kapitel 2 (Tabelle 4) diskutierten bodenkonservierenden Maßnahmen, Direktsaat, Mulchsaat, Konturbearbeitung, Streifensaat und die Restkategorie "konservierende Bodenbearbeitung, nicht genau spezifiziert" (Entstehung der Restkategorie aus Maetens et al. 2012 siehe Kapitel 3.3.2, sind die Ergebnisse in Abbildung 18 und Abbildung 19 dargestellt. Diese zeigen bezogen auf ein Jahr das Verhältnis des Runoff-Volumens mit Maßnahme relativ zu ohne Maßnahme (Runoff Ratio) und das Verhältnis des Bodenabtrags mit Maßnahme relativ zu ohne Maßnahme als Boxplot. Nimmt die Runoff Ratio bzw. die Soil Loss Ratio Werte von größer 1 an, heißt das, dass Runoffvolumen bzw. Bodenabtrag mit Maßnahme größer ist als ohne Maßnahme.

Abbildung 18: Boxplot für das Verhältnis des jährlichen Runoff- Volumens mit Maßnahme zum Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff Ratio, RR) im Ackerbau



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Abbildung 19: Boxplot für das Verhältnis des jährlichen Bodenabtrags mit Maßnahme zum Bodenabtrag ohne Maßnahme (Soil Loss Ratio, SLR) im Ackerbau



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Das Verhältnis aus Runoff-Volumen mit Maßnahmen zu Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff Ratio, RR) ist anfällig für Ausreißer (bei kleinen Runoff-Volumina treten leicht sehr kleine oder sehr hohe Werte von RR auf), dies gilt ebenso für den Bodenabtrag (Soil Loss Ratio, SLR). Daher müssen zusätzlich zu den Boxplots auch immer Scatterplots betrachtet werden. In Abbildungen 20 bis 26 sind Scatterplots für einzelne Kombinationen von Landnutzungstyp (Ackerbau) und Minderungsmaßnahme dargestellt. Die Stichprobenzahlen in den Scatterplots können sich von denen in Tabelle 6 und denen in den Boxplots unterscheiden: Wertepaare von Minderungsmaßnahme und Kontrolle (wendender Bodenbearbeitung) mit jährlichem Runoff oder Bodenabtrag gleich Null für die wendende Bodenbearbeitung (Kontrolle) sind in den Boxplots nicht darstellbar (Division durch Null), in den Scatterplots aber schon.

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse bodenkonservierender Maßnahmen für den Ackerbau ist in Tabelle 6 zu sehen:

Für Mulchsaat liegen Median und Mittelwert des Verhältnisses aus Runoff-Volumen mit Mulchsaat zu Runoff-Volumen für die Kontrolle (Runoff Ratio, RR) bei 1,03 bzw. 1,92 (Abbildung 18). Der Datensatz umfasst 62 Wertepaare. Während im Boxplot eine starke Schiefe mit Ausreißern nach rechts (d.h. zu höheren Werten) zu sehen ist, zeigt der Scatterplot (Abbildung 20) eher eine unsystematische Streuung um die 1:1-Linie. Auf Basis dieser Stichprobe scheint Mulchsaat zu einer leichten Erhöhung des Oberflächenabflusses zu führen. Ein ähnliches Bild zeigt sich für das Verhältnis des Bodenabtrages mit und ohne Mulchsaat (Soil Loss Ratio), allerdings mit deutlich niedrigeren Werten (Median = 0,74, Mittelwert = 1,15) (Abbildung 20).

Der Restkategorie "konservierende Bodenbearbeitung, nicht genau spezifiziert" wurden 71 Wertepaare zugeordnet (Tabelle 6). Die Verhältnisse vom Runoff-Volumen bzw. Bodenabtrag

Pflanzenschutzmitteln

mit Maßnahme zur Kontrolle (ohne Maßnahme), Runoff Ratio und Soil Loss Ratio, liegen niedriger als für Mulchsaat (Tabelle 6). Die Dokumentation der Versuchsbedingungen und damit die Beschreibung der Maßnahmen dieser Kategorie sind allerdings zu heterogen, um daraus belastbare Interpretationen hinsichtlich des Reduktionspotential von Maßnahmen ziehen zu können.

Für Direktsaat (n= 49) liegt das Verhältnis aus Runoff-Volumen mit Direktsaat zu Runoff-Volumen für die Kontrolle (Runoff Ratio, RR) im Median bei 0,78 und im Mittel bei 1,19 (Abbildung 18). Der Scatterplot (Abbildung 21) zeigt eine Verminderung des jährlichen Runoffvolumens vor allem für hohe Runoffvolumina. Für die Soil Loss Ratio (SLR) beträgt der Median 0,39 und der Mittelwert 0,66; mit Ausnahme des untersten Wertebereichs liegen alle Punkte unterhalb der 1:1-Linie.

Für Konturbearbeitung (contour cropping, n = 29) beträgt der Median der Runoff Ratio 0,38 und der Mittelwert 0,68. Für die Soil Loss Ratio sind die entsprechenden Werte 0,31 (Median) bzw. 1,01 (Mittelwert). Ähnlich der Maßnahme Direktsaat erwies sich Konturbearbeitung bei hohen jährlichen Runoffvolumen und Bodenabtrag als sehr effektiv in Bezug auf die Reduktion von Oberflächenabfluss und Erosion (Abbildung 22). Die Anzahl der Wertepaare für Konturbearbeitung ist jedoch geringer als die für Direktsaat und Mulchsaat und deckt einen geringeren Wertebereich der jährlichen Runoff-Volumina und Bodenabträge ab.

Für Streifensaat liegen acht Wertepaare vor, die aber nur aus einer Studie gewonnen wurden. Der Median der Runoff Ratio beträgt 0,88 und Mittelwert 0,80. Für die Soil Loss Ratio beträgt der Median 0,67 und der Mittelwert 0,94. Im Vergleich zu den anderen Maßnahmen lag in dieser Studie das maximale gemessene jährliche Runoff-Volumen in der Kontrolle mit 4,5 mm um zwei Größenordnungen niedriger, was die Vergleichbarkeit einschränkt.

Während bisher Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung im Ackerbau diskutiert wurden, umfassen die Datensätze von Maetens at al. (2012) auch Maßnahmen im Wein – und Olivenbau. Eine vollständige Zusammenfassung der Ergebnisse für Wein- und Olivenbau ist im Anhang als Tabelle und in Form von Box- und Scatterplots verfügbar. Die Maßnahme "keine Bodenbearbeitung" im Weinbau entspricht rein chemischer Unkrautbekämpfung.

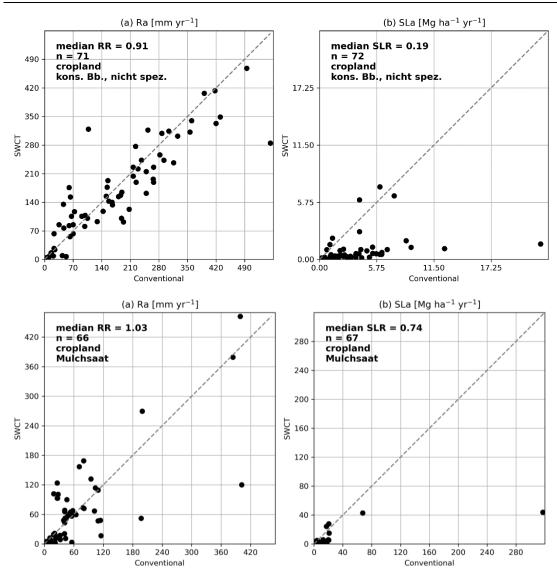
Die Ergebnisse für Wein- und Olivenbau sind sowohl aufgrund niedriger Stichprobenzahlen der einzelnen Maßnahmen sehr heterogen und nicht aussagekräftig (vgl. Anhang C.2, Abbildungen 39, 40, 43 und 44 und Tabelle 34).

Tabelle 6: Verhältnis des jährlichen Runoff-Volumens mit Maßnahme zum Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff Ratio, RR) und das Verhältnis des jährlichen Bodenabtrags mit Maßnahme zum Bodenabtrag ohne Maßnahme (Soil Loss Ratio, SLR) im Ackerbau

Maßnahme	RR Anzahl	RR Mittelwert	RR Min	RR 5 %	RR 50 %	RR 95 %	RR Max	SLR Anzahl	SLR Mittelwert	SLR Min	SLR 5 %	SLR 50 %	SLR 95 %	SLR Max
Direktsaat	49	1,194	0,000	0,018	0,783	1,678	20,750	50	0,663	0,000	0,030	0,392	1,194	7,277
Konturbearbeitung	29	0,681	0,000	0,000	0,383	2,022	5,039	28	1,013	0,000	0,000	0,312	6,047	10,302
Mulchsaat	62	1,927	0,000	0,073	1,032	4,455	45,750	62	1,150	0,002	0,031	0,736	4,184	5,976
Streifensaat	8	0,796	0,297	0,349	0,881	1,246	1,354	8	0,941	0,191	0,261	0,666	1,886	2,044
kons. Bb., nicht spez. ¹⁾	71	1,046	0,137	0,394	0,911	2,584	2,981	70	0,343	0,000	0,043	0,186	1,365	1,658

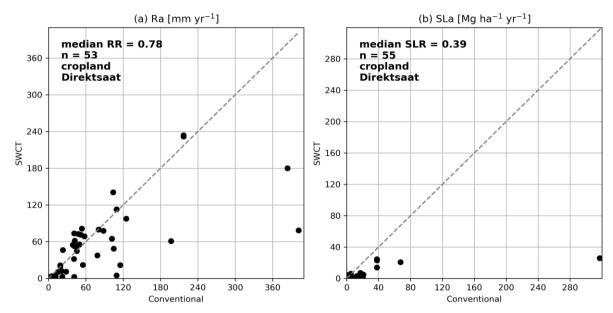
¹⁾ konservierende Bodenbearbeitung nicht spezifiziert (Definition siehe Kapitel 3.3.2)

Abbildung 20: Scatterplot für jährliches Runoffvolumen (annual Runoff, Ra) und jährlichen Bodenabtrag (annual Soil Loss, SLa) im Ackerbau für die Maßnahmen "konservierende Bodenbearbeitung, nicht genau spezifiziert (oben)" und Mulchsaat (unten) (category_UBA) im Vergleich zur Kontrolle (wendende Bodenbearbeitung, conventional)



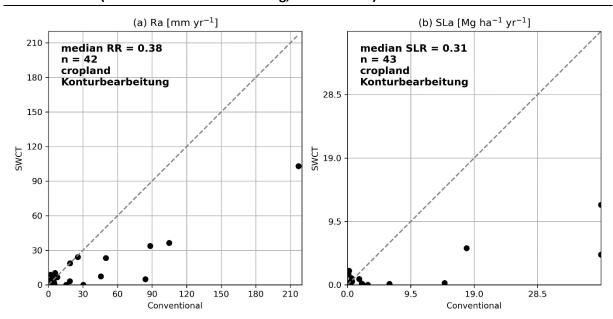
SWCT (Soil and Water Conservation Technique) steht für die jeweilige bodenkonservierende Maßnahme. Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Abbildung 21: Scatterplot für jährliches Runoffvolumen (annual Runoff, Ra) und jährlichen Bodenabtrag (annual Soil Loss, SLa) im Ackerbau für die Maßnahmen Direktsaat (category_UBA) im Vergleich zur Kontrolle (wendende Bodenbearbeitung, conventional)



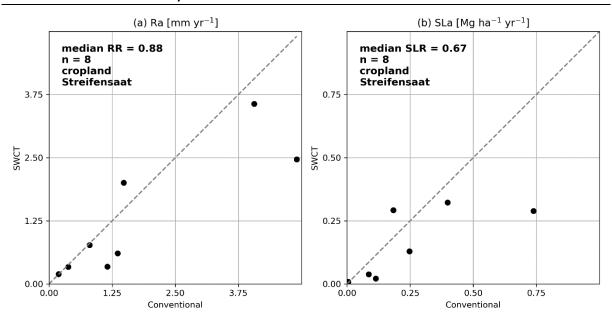
SWCT (Soil and Water Conservation Technique) steht für die jeweilige bodenkonservierende Maßnahme. Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Abbildung 22: Scatterplot für jährliches Runoffvolumen (annual Runoff, Ra) und jährlichen Bodenabtrag (annual Soil Loss, SLa) im Ackerbau für die Maßnahmen Konturbearbeitung (contour cropping, category_UBA) im Vergleich zur Kontrolle (wendende Bodenbearbeitung, conventional)



SWCT (Soil and Water Conservation Technique) steht für die jeweilige bodenkonservierende Maßnahme. Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Abbildung 23: Scatterplot für jährliches Runoffvolumen (annual Runoff, Ra) und jährlichen Bodenabtrag (annual Soil Loss, SLa) im Ackerbau für die Maßnahmen Streifensaat (category_UBA) im Vergleich zur Kontrolle (wendende Bodenbearbeitung, conventional)



SWCT (Soil and Water Conservation Technique) steht für die jeweilige bodenkonservierende Maßnahme. Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

3.4.2.2 Ergebnisse zur ereignisbezogenen Verminderung von Runoff, Bodenabtrag und PSM-Austrag

Im Folgenden werden die von Erlach (2005) gemessenen Runoffvolumina, Bodenabträge und PSM-Austräge für die Varianten wendende Bodenbearbeitung (Pflug, Kontrolle) im Vergleich zu Mulchsaat und Direktsaat gegenübergestellt. Für die Studie liegen, im Gegensatz zu vielen Reviews, nicht nur ereignisbasierte Daten vor, sondern es sind auch alle relevanten Umweltparameter inklusive Angaben zur Bodenbedeckung verfügbar.

Für **Direktsaat** trat in keiner der verschiedenen Messperioden (Mais: Mitte Mai bis Ende Juli, Winterraps: Mitte August bis Mitte Oktober, Winterweizen: Mitte Oktober bis Ende März) Oberflächenabfluss (Runoff) auf und damit auch kein Bodenabtrag durch Wassererosion oder PSM-Austrag. Die beobachteten Runoffvolumina und Bodenabträge für die beiden anderen Varianten (Mulchsaat und Pflug) waren generell niedrig (Tabelle 7 und Tabelle 8).

Für **Mulchsaat** trat in Winterraps in der zweiwöchigen Messperiode, die im Anfang der Anbausaison lag, überhaupt kein Oberflächenabfluss auf und damit auch kein Bodenabtrag durch Wassererosion oder PSM-Austrag. Für Mais wurde eine deutliche Reduktion des Oberflächenabflusses (Häufigkeit und Abflussvolumen) durch Mulchsaat festgestellt, für Winterweizen nur eine leichte (Tabelle 7). Sowohl für Mais als auch für Winterweizen führte Mulchsaat zu einer starken Reduktion des Bodenabtrags (pro Ereignis 62-100 % für Mais und 60-100 % für Winterweizen; Tabelle 8).

Im Maisanbau wurde der PSM-Austrag pro Runoffereignis für die Wirkstoffe Terbuthylazin, Pendimethalin und Metolachlor durch Mulchsaat um jeweils mindestens 69, 78 und 60 % verringert. In Winterweizen im Nachauflauf schwankten die ereignisbasierte Reduktionseffizienz für Chlortoluron durch Mulchsaat stark. Bezogen auf die gesamte

Messperiode konnte eine moderate Reduktion des Gesamtaustrags von Chlortoluron im Oberflächenabfluss von 47 % festgestellt werden. Der Gesamtaustrag von Isoproturon lag für Mulchsaat dagegen um mindestens 120 % höher als der sehr niedrige Austrag für die Pflugvariante. Der ereignisbasierte Isoproturon-Austrag war sogar um bis zu zwei Größenordnungen höher als der Austrag für die Pflugvariante. Dies lässt sich durch Desorption des relativ schwach sorbierenden Wirkstoffs Isoproturon vom Mulchmaterial während des Runoffereignisses erklären.

Zusammengefasst sind bei dieser Studie klare Effekte auf Runoff, Bodenabtrag und PSM-Austrag für Direktsaat und Mulchsaat zu sehen. Die Unterschiede in den Curve Numbers zwischen Mulchsaat und konventioneller Bodenbearbeitung (Pflugvariante) sind weniger klar, weil sich ohne Auftreten von Runoff keine exakte Curve Number für das Ereignis ableiten, sondern sich nur eine Ungleichung angeben lässt. Es wären mehrere solche Studien für verschiedene Standorte nötig, um daraus belastbare Daten für die Reduktion der Curve Number durch Mulchsaat ableiten zu können.

Pflanzenschutzmitteln

Gemessene Runoffvolumina aus Erlach (2005) und angepasste Curve Number für Tabelle 7: wendende Bodenbearbeitung (Pflug) und Mulchsaat

Kultur	Datum	Niederschlag mm	Runoff Pflugvariante mm	Runoff Mulchsaat mm	CN (Pflug)	CN (Mulch)	Reduktion der CN durch Mulchsaat
Mais	21.06.98	5,2	0,04	0	92	< 92	n.a.
Mais	22.06.98 (I)	2,9	0,115	0,04	97	96	0,7
Mais	22.06.98 (II)	2,9	0,16	0,02	97	95	1,3
Mais	01.08.98	13,4	0,04	0	81	< 80	n.a.
Mais	12.07.99	11,9	0,075	0	84	< 82	n.a.
Mais	19.07.99	6,1	0,02	0	90	< 90	n.a.
Mais	20.07.99	5,2	0,03	0	92	< 92	n.a.
Mais	30.06.01	35	1,415	0,57	70	66	3,9
Winterweizen	22.11.99	9,2	0,025	0	86	< 86	n.a.
Winterweizen	29.01.00	6,6	0,015	0,015	90	90	0,0
Winterweizen	24.02.00	20,6	0,045	0,03	73	73	0,4
Winterweizen	01.03.00	12,6	0,045	0,015	82	81	0,9
Winterweizen	03.03.00	10,2	0,035	0,015	85	84	0,6
Winterweizen	08.03.00	24,9	0,06	0,045	70	69	0,3
Winterweizen	10.03.00	6,7	0,015	0,015	89	89	0,0
Winterweizen	17.03.00	11,3	0,03	0,01	83	83	0,7
Winterraps	07.09.00	10,1	0,23	0	96	< 96	n.a.
Winterraps	16.09.00	13,5	0,845	0	95	< 95	n.a.
Winterraps	25.09.00	11	0,87	0	96	< 96	n.a.
Winterraps	27.09.00	3	0,245	0	99	< 99	n.a.

n.a.: not available

Tabelle 8: Gemessene Bodenabträge aus Erlach (2005) für wendende Bodenbearbeitung (Pflug) und Mulchsaat

Kultur	Datum	Niederschlag mm	Bodenabtrag Pflugvariante g m ⁻²	Bodenabtrag Mulchsaat g m ⁻²	relative Reduktion durch Mulchsaat %
Mais	21.06.98	5,2	2,16	0	100,0
Mais	22.06.98 (I)	2,9	6,56075	1,736	73,5
Mais	22.06.98 (II)	2,9	6,336	0,477	92,5
Mais	01.08.98	13,4	0,552	0	100,0
Mais	12.07.99	11,9	0,52875	0	100,0
Mais	19.07.99	6,1	0,39	0	100,0
Mais	20.07.99	5,2	0,2505	0	100,0
Mais	30.06.01	35	32,828	12,597	61,6
Winterweizen	22.11.99	9,2	0	0	-
Winterweizen	29.01.00	6,6	0	0	-
Winterweizen	24.02.00	20,6	0,0765	0	100,0
Winterweizen	01.03.00	12,6	0,135	0	100,0
Winterweizen	03.03.00	10,2	0	0	-
Winterweizen	08.03.00	24,9	0,162	0,06525	59,7
Winterweizen	10.03.00	6,7	0	0	-
Winterweizen	17.03.00	11,3	0	0	-
Winterraps	15.09.00	62,1	n.a.	0	n.a.
Winterraps	07.09.00	10,1	0,0529	0	100,0
Winterraps	16.09.00	13,5	0,714025	0	100,0
Winterraps	25.09.00	11	0,7569	0	100,0
Winterraps	27.09.00	3	0,060025	0	100,0

Tabelle 9: Gemessene PSM-Austräge im Oberflächenabfluss (gelöst und partikelgebunden) aus Erlach (2005) für wendende Bodenbearbeitung (Pflug) und Mulchsaat in Mais (Vorauflauf)

· · ·				
Wirkstoff	Datum	Pflug mg ha-1	Mulch mg ha-1	relative Reduktion durch Mulchsaat %
Metolachlor	21.06.98			
Metolachlor	22.06.98 (I)	59,7	18,3	69,4
Metolachlor	22.06.98 (II)	61,7	7,45	87,9
Metolachlor	01.08.98	3,45	0	100
Metolachlor	12.07.99	44,55	0	100
Metolachlor	19.07.99	22,05	0	100
Metolachlor	20.07.99	6,85	0	100
Metolachlor	30.06.01	810	205	74,7
Metolachlor	total	1004,85	230,75	77,0
Pendimethalin	21.06.98			
Pendimethalin	22.06.98 (I)	45,7	10,1	77,9
Pendimethalin	22.06.98 (II)	45,5	2,7	94,1
Pendimethalin	01.08.98	3,5	0	100
Pendimethalin	12.07.99	38,85	0	100
Pendimethalin	19.07.99	12,05	0	100
Pendimethalin	20.07.99	10,15	0	100
Pendimethalin	30.06.01	585	105	82,0
Pendimethalin	total	737,25	117,8	84,0
Terbuthylazin	21.06.98			
Terbuthylazin	22.06.98 (I)	61,6	24,6	60,1
Terbuthylazin	22.06.98 (II)	61,5	10,5	83,0
Terbuthylazin	01.08.98	6,25	0	100
Terbuthylazin	12.07.99	25,2	0	100
Terbuthylazin	19.07.99	12,1	0	100
Terbuthylazin	20.07.99	5,55	0	100
Terbuthylazin	30.06.01	1180	110	90,7
Terbuthylazin	total	1345,95	145,1	89,2

Tabelle 10: Gemessene PSM-Austräge im Oberflächenabfluss (gelöst und partikelgebunden) aus Erlach (2005) für wendende Bodenbearbeitung (Pflug) und Mulchsaat in Winterweizen (Nachauflauf)

Wirkstoff	Datum	Pflug mg ha ⁻¹	Mulch mg ha ⁻¹	relative Reduktion durch Mulchsaat %
Chlortoluron	22.11.99	0,8	0	100
Chlortoluron	29.01.00	0,3	0,7	-133,3
Chlortoluron	24.02.00	2,3	1,1	51,1
Chlortoluron	01.03.00	2,3	0,75	67,4
Chlortoluron	03.03.00	2	0,7	65,0
Chlortoluron	08.03.00	2,6	1,8	30,8
Chlortoluron	10.03.00	0,4	0,5	-25,0
Chlortoluron	17.03.00	1,15	0,3	73,9
Chlortoluron	total	11,05	5,85	47,1
Isoproturon	22.11.99	0,3	0	100
Isoproturon	29.01.00	< 0,001	0,1	< -99,00
Isoproturon	24.02.00	0,2	0,2	0
Isoproturon	01.03.00	0,1	0,2	-100
Isoproturon	03.03.00	0,05	0,1	-100
Isoproturon	08.03.00	0,1	0,25	-150
Isoproturon	10.03.00	< 0,001	0,05	< -4900
Isoproturon	17.03.00	< 0,001	0,1	< -9900
Isoproturon	total	< 0,453	1	< - 120,8

Tabelle 11: Gemessene PSM-Austräge im Oberflächenabfluss (gelöst und partikelgebunden) aus Erlach (2005) für wendende Bodenbearbeitung (Pflug) und Mulchsaat in Winterraps (früher Nachauflauf)

Wirkstoff	Datum	Pflug mg ha ⁻¹	Mulch mg ha ⁻¹	relative Reduktion durch Mulchsaat %
Metazachlor	07.09.2000	0,11	0	100
Metazachlor	16.09.2000	0,81	0	100
Metazachlor	25.09.2000	0,18	0	100
Metazachlor	27.09.2000	0,05	0	100
Metazachlor	total	1,15	0	100

3.4.2.3 Ergebnisse zur saisonalen Verminderung des PSM-Austrages bei Runoff und Erosion

Wie in Kapitel 3.3.2 beschrieben können 14 Studien aus zwei Reviews (Dönges 2012 und Fawcett et al. 1994) zur Bewertung der Wirksamkeit konservierender Maßnahmen auf dem Feld hinsichtlich der Verminderung des Wirkstoffaustrages bei Runoff und Erosion herangezogen werden. Im Gegensatz zu den im Kapitel zuvor zusammengefassten Ergebnissen (Erlach 2005) beziehen sich diese Daten auf eine Saison, nicht auf einzelne Runoffereignisse.

Aus dem Review von Dönges (2012) wurden in diesem Vorhaben vier Studien als verwertbar identifiziert (Mamo et al., 2006, Hansen et al., 2001, Felsot et al., 1990 und Hall et al., 1984). Aus diesen ergaben sich insgesamt 41 Werte, im Speziellen für die Wirkstoffe Alachlor, Carbofuran, Cyanazin und Terbufos. Die ausgewerteten Versuche wurden für die Anbaufrüchte Mais und Sojabohnen durchgeführt und fanden bis auf eine Studie (Hall et al., 1984: toniger Schluff, USDA-Texturklasse silty clay loam) auf der Bodenart Schlufflehm (USDA-Klasse silt loam, entspricht nach BKA5 der Bodenartengruppe Lehmschluffe, Bodenart schwach toniger Schluff (Ut2) und mittel toniger Schluff (Ut 3)) statt.

Im Rahmen der Übersichtsarbeit von Fawcett et al. (1994) wurden zehn Studien aus dem Zeitraum 1967 bis 1991 zum Einfluss von konservierender Bodenbearbeitung auf den Wirkstoffaustrag über Runoff und Erosion ausgewertet. Die Ergebnisse in dieser Übersichtsarbeit sind nach "künstlichen" und "natürlichen Niederschlägen" differenziert, jeweils fünf Studien fallen in die Gruppe "künstliche Niederschläge" und die Gruppe "natürliche Niederschläge". Bei den künstlichen Niederschlägen wurden insgesamt 94 wirkstoffbezogene Austragsverhältnisse (neun Wirkstoffe) und bei den natürlichen Niederschlägen wurden 65 Austragsverhältnisse (acht Wirkstoffe) zusammengestellt. Die Details der Studienbedingungen sind in Fawcett et al. (1994) jedoch nicht im Einzelnen dokumentiert. Insofern können die Art und Menge des künstlichen und natürlichen Niederschlages nicht eingeschätzt werden.

Um die Ergebnisse aus Dönges (2012) und Fawcett et al (1994) gemeinsam auswerten zu können, wurden im Rahmen dieser Arbeit die Werte aus Dönges (2012) auf Basis der Originalstudien auch nach "künstlichen" und "natürlichen Niederschlägen" differenziert. Da künstliche und natürliche Niederschläge häufig nicht vergleichbar waren, wurde diese Trennung aufrechterhalten. Insgesamt ergaben sich durch die Zusammenführung der Ergebnisse aus den beiden Reviews 98 Wirkstoffaustragsverhältnisse für "künstliche Niederschläge" und 76 für "natürliche Niederschläge". Die von beiden Reviews verwendete Studie von Felsot et al. (1990) wurde dabei nur einmal berücksichtigt.

Nachfolgend sind die ausgewerteten konservierenden Maßnahmen und die Anzahl der zur Verfügung stehenden Werte getrennt nach "künstlichen und natürlichen Niederschlägen" in zwei Tabellen dargestellt (vgl. Tabelle 12 und Tabelle 13).

Tabelle 12: Übersicht der ausgewerteten konservierenden Maßnahmen in der Kategorie "künstliche Niederschläge"

Maßnahme	Maßnahmenkategorie	Beschreibung	Einzelmaßnahme (Bezeichnung in Referenz)	Anzahl der Werte	Referenz*
Dammsaat	konservierende Bodenbearbeitung	Anbau von Nutzpflanzen auf vorgeformten Erhöhungen im Wechsel mit Furchen, die durch Pflanzenrückstände	Dammbearbeitung	2	Dönges
	0	geschützt sind	Dammbearbeitung und Konturbearbeitung	2	Dönges
			ridge till	15	Fawcett
			Dammsaat (alle)	19	Dönges/Fawcett
Grubber	konservierende Bodenbearbeitung	Flachlockerndes nicht-wendendes Bodenbearbeitungswerkzeug	Grubber	2	Dönges
	Bouchsearsettang	Bodenbeatbettungswerkzeug	Grubber + Konturbearbeitung	2	Dönges
			Chisel	15	Fawcett
			Grubber (alle)	19	Dönges/Fawcett
Pflügen ohne Saatbett- bearbeitung	konservierende Bodenbearbeitung	Pflügen mit anschließender Einsaat ohne sekundäre Bodenbearbeitung (d.h. ohne Saatbettbereitung)	Till plant	9	Fawcett
Scheibenegge	konservierende Bodenbearbeitung	Flachlockerndes nicht-wendendes Bodenbearbeitungswerkzeug	disk	18	Fawcett
Streifensaat	konservierende Bodenbearbeitung	Streifenförmiges, höchstens 20cm tiefes Bearbeiten des vorteilhafterweise mit Pflanzen(-resten) bedeckten Bodens.	Streifensaat	2	Dönges
	Dabei werden höchstens 50 bearbeitet. Höchstens zwei A	Dabei werden höchstens 50 % der Bodenoberfläche bearbeitet. Höchstens zwei Arbeitsgänge, der gewachsene Boden wird befahren.	Streifensaat + Konturbearbeitung	2	Dönges
			Streifensaat (alle)	4	Dönges

Maßnahme	Maßnahmenkategorie	Beschreibung	Einzelmaßnahme (Bezeichnung in Referenz)	Anzahl der Werte	Referenz*
	konservierende Bodenbearbeitung		konservierende Bodenbearbeitung (alle)	69	Dönges/Fawcett
Direktsaat	Direktsaat	Keine Bearbeitung/Störung des Oberbodens. Saat in den von der Vorfrucht hinterlassenen Boden.	Direktsaat Direktsaat und Konturbearbeitung	4	Dönges Dönges
			no till	21	Fawcett
			Direktsaat (alle)	29	Dönges/Fawcett

^{*} Die angeführte Referenz bezieht sich auf Dönges, 2012 und Fawcett et al. 1994

Tabelle 13: Übersicht der ausgewerteten konservierenden Maßnahmen in der Kategorie "natürliche Niederschläge"

Maßnahme	Maßnahmenkategorie	Beschreibung	Einzelmaßnahme (Bezeichnung in Referenz)	Anzahl der Werte	Referenz*
Dammsaat	konservierende	Anbau von Nutzpflanzen auf vorgeformten Erhöhungen im Wechsel mit Furchen, die durch Pflanzenrückstände	Dammsaat	2	Dönges
	Bodenbearbeitung	geschützt sind	Dammsaat + Bandapplikation	2	Dönges
			ridge till	9	Fawcett
			contour ridges	3	Fawcett
			Dammsaat (alle)	16	Dönges/Fawcett
Grubber	konservierende	Flachlockerndes nicht-wendendes Bodenbearbeitungswerkzeug	Grubber	2	Dönges
	Bodenbearbeitung	bodembeatbeitungswerkzeug	Grubber + Bandapplikation	2	Dönges
			Chisel	6	Fawcett
			Grubber (alle)	10	Dönges/Fawcett
	konservierende Bodenbearbeitung		konservierende Bodenbearbeitung (alle)	26	Dönges/Fawcett
Direktsaat	Direktsaat	Keine Bearbeitung/Störung des Oberbodens. Saat in den von der Vorfrucht hinterlassenen Boden.	Direktsaat	3	Dönges
		von der vorrucht ninterlassenen Boden.	no till	47	Fawcett
			Direktsaat (alle)	50	Dönges/Fawcett
Bandapplika- tion	Bandapplikation/Reihen- behandlung	Verminderter Wirkstoffeinsatz, da nur Streifen mit der Kultur behandelt wird	Bandapplikation	2	Dönges
UOH	benanding Ruitur benandert wird	Kultui belidiluelt Wilu	Bandapplikation + Dammsaat	2	Dönges
			Bandapplikation + Grubber	2	Dönges

Maßnahme	Maßnahmenkategorie	Beschreibung	Einzelmaßnahme (Bezeichnung in Referenz)	Anzahl der Werte	Referenz*
			Bandapplikation (alle)	6	Dönges

Die kursiv dargestellten Einzelmaßnahmen wurden sowohl unter der Maßnahmenkategorie "konservierende Bodenbearbeitung" als auch "Bandapplikation/Reihenbehandlung" ausgewertet.

^{*} Die angeführte Referenz bezieht sich auf Dönges, 2012 und Fawcett et al. 1994

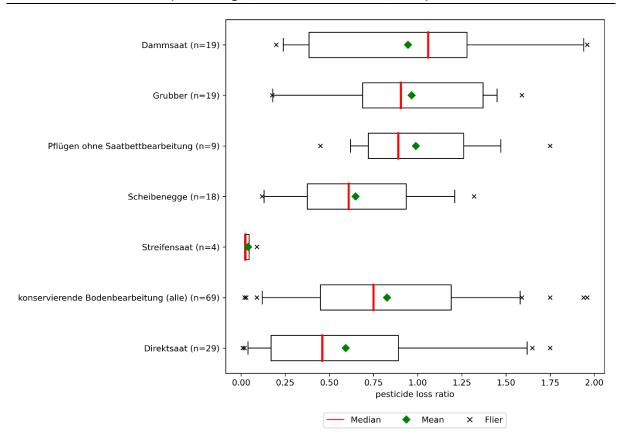
Die Wirkstoffaustragsverhältnisse (pesticide loss ratios) werden wie in Anlehnung zum runoff loss ratio und soil loss ration (Kapitel 3.4.2.1) als das Verhältnis des Gesamtwirkstoffaustrags mit Maßnahme zum Gesamtwirkstoffaustrag bei wendender Bodenbearbeitung definiert, im vorliegenden Kapitel werden sie in Boxplots für die jeweilige Maßnahme der konservierenden Bodenbearbeitung dargestellt.

In Tabelle 14 sind die statistischen Eckdaten zur Auswertung der Wirkstoffaustragsverhältnisse für "künstliche Niederschläge" zusammengestellt. In Abbildung 24 sind die dazugehörigen Boxplots dargestellt. Das pesticide loss ratio der Maßnahme "Direktsaat" ist dort den der unterschiedlichen Maßnahmen der "konservierenden Bodenbearbeitung" ("Dammsaat", "Grubber", "Pflügen ohne Saatbettbearbeitung", "Scheibenegge und "Streifensaat") gegenübergestellt. In einem Boxplot sind die pesticide loss ratios der unterschiedlichen Maßnahmen der "konservierenden Bodenbearbeitung" zusammengefasst. Die Darstellung der Boxplots zu weiter ausdifferenzierten Einzelmaßnahmen (vgl. Tabelle 12) ist aufgrund der geringen Stichprobenzahlen lediglich in Anhang C.4 abgebildet.

Tabelle 14: Übersicht der deskriptiven Statistik des Wirkstoffaustragsverhältnisses bei künstlichen Niederschlägen für Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)

Maßnahme	Maßnahmen- kategorie	Median	5. Perzentil	25. Perzentil	75. Perzentil	95. Perzentil
Dammsaat, n=19	Konservierende Bodenbearbeitung	1,06	0,24	0,39	1,28	1,94
Grubber, n=19	Konservierende Bodenbearbeitung	0,91	0,18	0,69	1,37	1,45
Pflügen ohne Saatbettbearb., n=9	Konservierende Bodenbearbeitung	0,89	0,62	0,72	1,26	1,47
Scheibenegge, n=18	Konservierende Bodenbearbeitung	0,61	0,13	0,38	0,93	1,21
Streifensaat, n=4	Konservierende Bodenbearbeitung	0,03	0,02	0,02	0,05	0,05
Konservierende Bb. (alle), n=69	Konservierende Bodenbearbeitung	0,75	0,12	0,45	1,19	1,58
Direktsaat	Direktsaat	0,46	0,04	0,17	0,89	1,62

Abbildung 24: Boxplots der saisonalen Wirkstoffaustragsverhältnisse bei künstlichen Niederschlägen für Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Bei der konservierenden Maßnahme "Direktsaat" zeigt sich bei den Studien mit künstlichen Niederschlägen ein Wirkstoffaustragsverhältnis von 0,46 im Median. Somit werden die Austräge im Median um etwas mehr als die Hälfte reduziert. Gleichzeitig zeigen die Wirkstoffaustragverhältnisse für diese Maßnahme eine große Streuung. In wenigen Fällen ist sogar eine Zunahme der Werte zu beobachten (Minimalwert: 0,01; Maximalwert: 1,75).

Für alle Maßnahmen der Maßnahmenkategorie "konservierenden Bodenbearbeitung" zusammengefasst zeigt sich ein Wirkstoffaustragsverhältnis von 0,75 im Median. Auch hier ist eine große Streuung der Werte zu beobachten (Minimalwert: 0,02; Maximalwert: 1,96). Die konservierende Maßnahme "Streifensaat" alleine zeigt dabei mit 0,03 im Median das geringste Austragsverhältnis. Allerdings liegen dem Median hier nur vier Werte zugrunde, was statistisch gesehen wenig "stabil" ist. Für die Maßnahme "Scheibenegge" wurde ein Austragsverhältnis von 0,61 im Median ermittelt. Weniger deutlich fällt die Reduktionswirkung auf das Wirkstoffaustragsverhältnis durch die Maßnahmen "Pflügen ohne Saatbettbearbeitung" (Median: 0,89) und "Grubber" (Median: 0,91) aus. Zu einem leichten Anstieg des Wirkstoffaustragsverhältnisses bei künstlichen Niederschlägen kommt es mit 1,06 im Median bei der Maßnahme "Dammsaat".

Nach Einschätzung von Fawcett et al. (1994) wurden in allen Studien, die einen Anstieg des Wirkstoffaustrags mit der Maßnahme im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung zeigten (pesticide loss ratio > 1), sehr starke künstliche Niederschläge kurze Zeit nach der PSM-Applikation angesetzt. So soll bspw. in einer Studie (Baker et al., 1978) ein 50-jähriges

Pflanzenschutzmitteln

Niederschlagsereignis 48 h nach der Applikation erzeugt worden sein. In einer weiteren Studie (Saurer & Daniel, 1987) wurde ein 100-jähriges Niederschlagsereignis in weniger als einer Woche nach der Applikation erzeugt, gefolgt von einem 30-jährigen Ereignis später in der Saison. Da die Details der Studienbedingungen in Fawcett et al. (1994) jedoch nicht im Einzelnen dokumentiert sind, wurde davon abgesehen, einzelne Werte von der Auswertung auszuschließen.

In Tabelle 15 sind die statistischen Eckdaten zur Auswertung der Wirkstoffaustragsverhältnisse für "natürlichen Niederschläge" zusammengestellt. In Abbildung 25 sind die dazugehörigen Boxplots dargestellt. Das Wirkstoffaustragsverhältnis der Maßnahme "Direktsaat" ist dort den der unterschiedlichen Maßnahmen der "konservierenden Bodenbearbeitung" ("Dammsaat" und "Grubber") gegenübergestellt. In einem Boxplot sind die Wirkstoffaustragsverhältnisse der unterschiedlichen Maßnahmen der "konservierenden Bodenbearbeitung" zusammengefasst. Die Darstellung der Boxplots zu weiter ausdifferenzierten Einzelmaßnahmen (vgl. Tabelle 13) ist aufgrund der geringen Stichprobenzahlen lediglich in Anhang C.4 abgebildet.

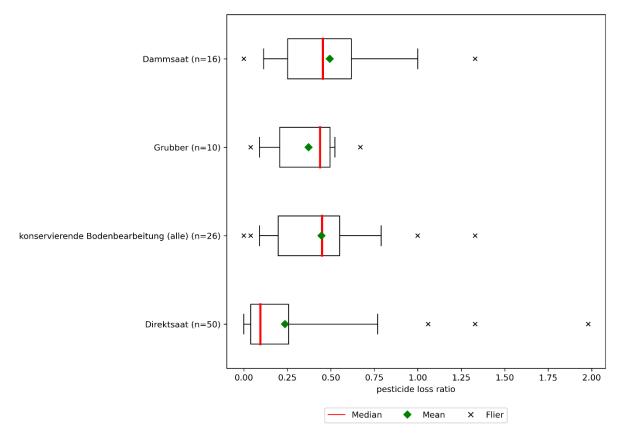
Tabelle 15: Übersicht der deskriptiven Statistik des Wirkstoffaustragsverhältnisses bei natürlichen Niederschlägen für Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)

Maßnahme	Maßnahmen- kategorie	Median	5. Perzentil	25. Perzentil	75. Perzentil	95. Perzentil
Dammsaat, n=16	Konservierende Bodenbearbeitung	0,45	0,11	0,25	0,62	1,00
Grubber, n=10	Konservierende Bodenbearbeitung	0,44	0,09	0,21	0,49	0,52
Konservierende Bb, (alle), n=26	Konservierende Bodenbearbeitung	0,45	0,09	0,20	0,55	0,79
Direktsaat, n=50	Direktsaat	0,10	0,00	0,04	0,26	0,77

Pflanzenschutzmitteln

Abbildung 25: Boxplots der saisonalen Wirkstoffaustragsverhältnisse bei natürlichen

Abbildung 25: Boxplots der saisonalen Wirkstoffaustragsverhältnisse bei *natürlichen*Niederschlägen für Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung und der
Direktsaat (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer IME, knoell Germany GmbH, EBP Schweiz AG, RLP AgroScience

Die gemeinsame Auswertung von Dönges (2012) und Fawcett et al. (1994) ergab bei den Werten zu natürlichen Niederschlägen ein Wirkstoffaustragsverhältnis von 0,1 im Median für die Maßnahme "Direktsaat", was einer Reduktion des Wirkstoffaustrags von 90 % entspricht. Ähnlich wie bei den künstlichen Niederschlägen ist auch hier eine große Streuung der Austragsverhältnisse zu beobachten (Minimalwert: 0; Maximalwert: 1,98).

Alle konservierenden Maßnahmen der Maßnahmenkategorie "konservierende Bodenbearbeitung" zusammengefasst ergaben für das Wirkstoffaustragsverhältnis 0,45 im Median, was einer Wirkstoffminderung von etwas mehr als 50 % entspricht. Im Vergleich zu den Werten bei künstlichen Niederschlägen ist für diese Kategorie die Streuung weniger deutlich ausgeprägt, aber trotzdem relativ groß (Minimalwert: 0; Maximalwert: 1,33). Innerhalb der Kategorie "konservierende Bodenbearbeitung" zeigen die Maßnahmen "Dammsaat" und "Grubber sehr ähnliche Wirkstoffaustragsverhältnisse im Median (0,45 bzw. 0,44). Eine größere Streuung der Einzelwerte ist für die Maßnahme "Dammsaat" zu beobachten.

Die Maßnahme "Bandapplikation" erreicht die Minderung des Wirkstoffaustrags durch eine verringerte Anwendungsmenge, welche durch eine Behandlung in Streifen bei Nichtbehandlung der Zwischenräume zustande kommt. Sie zählt somit nicht zu den konservierenden Maßnahmen auf dem Feld, die ihre Wirkung durch die Art der Bodenbearbeitung erzielen und wird hier deshalb gesondert dargestellt.

Die Auswertung der Maßnahme "Bandapplikation" basiert auf einer Studie (Hansen et al., 2001), deren Ergebnisse in Dönges (2012) zusammengetragen wurden. Bei Hansen et al. (2001) wurden die Wirkstoffe Alachlor und Cyanazin in einem 25 cm breiten Band um die angebaute Kulturpflanze (Mais, 75 cm Reihenabstand) mittels Sprühtechnik ausgebracht. Somit wurde im Vergleich zur ganzflächigen PSM-Applikation nur ein Drittel der Fläche behandelt. Die relativ geringen Unterschiede im Median der Wirkstoffaustragverhältnisse der einzelnen Variationen der Bandapplikation zeigt den weitaus größeren Einfluss durch die Reduktion der Wirkstoffmenge als durch die Kombination mit einer anderen nicht wendenden Bodenbearbeitungsmaßnahme (hier Grubber und Dammsaat, Tabelle 16).

Tabelle 16: Übersicht der deskriptiven Statistik des Wirkstoffaustragsverhältnisses bei natürlichen Niederschlägen für Maßnahmen der Bandapplikation (nach Dönges, 2012)

Minderungs- maßnahme	Maßnahmen- kategorie	Median	5. Perzentil	25. Perzentil	75. Perzentil	95. Perzentil
Bandapplikation (alle), n=6	Bandapplikation/ Reihenbehandlung	0,46	0,41	0,41	0,52	0,52
Bandapplikation (konventionelle BB), n=2	Bandapplikation/ Reihenbehandlung	0,55	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Bandapplikation + Grubber, n=2	Bandapplikation/ Reihenbehandlung	0,47	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Bandapplikation + Dammsaat, n=2	Bandapplikation/ Reihenbehandlung	0,35	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a. nicht anwendbar

3.4.2.4 Zusammenfassung bodenkonservierende Maßnahmen

Im Folgenden wird eine Zusammenfassung der Ergebnisse zu den verschiedenen Maßnahmen im Feld, welche in Tabelle 2 (siehe Kapitel 2.3.2) vorgestellt wurden, präsentiert. Das Datenmaterial zu diesen Maßnahmen stellte sich als sehr heterogen dar, insbesondere hinsichtlich der verwendeten Methodik. Daher waren die eigentlichen Runoff-Ereignisse aus verschiedenen Studien nicht durchgehend miteinander vergleichbar. So waren beispielsweise die beobachteten Oberflächenabflussvolumina und Bodenabträge bei Erlach (2005) generell niedriger als bei Maetens et al. (2012).

Grundsätzlich zeigte sich außerdem, dass die Klassifikation der einzelnen Maßnahmen und ihre Abgrenzung voneinander mitunter schwierig waren, insbesondere für Mulchsaat und den in den Studien unter *conservation tillage* zusammengefassten Maßnahmen, deren konkrete Ausgestaltung häufig einer Mulchsaat entsprechen dürfte. Aufgrund dieser mangelnden Vergleichbarkeit untereinander musste die Auswertung häufig getrennt nach der Datenquelle erfolgen:

- ▶ Die Daten von Maetens et al. (2012) beinhalten nur Wasserflüsse und Bodenabtrag auf Jahresbasis. Sie enthalten keine saisonalen oder ereignisbasierten Daten und keine Messwerte für PSM.
- ▶ Die Arbeit von Erlach (2005) enthält ereignisbasierte Daten für Runoff, Erosion und PSM-Austrag für verschiedene Maßnahmen im Feld über mehrere Jahre hinweg, aber jeweils nur für einen Standort.

- ▶ Die von Dönges (2012) untersuchten Quellen enthalten Daten nur in Hinblick auf saisonalen PSM-Gesamtaustrag (im Runoff und Sediment). Die Stichprobenzahlen der einzelnen Maßnahmen sind teilweise zu klein für belastbare Aussagen und wurden deshalb gemeinsam mit den Werten aus Fawcett et al. (1994) ausgewertet.
- ▶ Auch Fawcett et al. (1994) werteten nicht ereignisbasiert aus, unterschieden aber bei den Auswertungen zwischen künstlichen und natürlichen Niederschlägen. Die Werte aus Dönges (2012) mussten für die zusammengefasste Auswertung auch diesen beiden Niederschlagstypen zugeordnet werden.

Auf die verschiedenen Maßnahmen bezogen wird wie folgt bewertet:

- ▶ Direktsaat zeigte einen klaren Reduktionseffekt in Bezug auf Erosion und hohe jährliche Oberflächenabflussvolumina. Bei Erlach (2005) führte die Direktsaatvariante sogar zu einer vollkommenen Eliminierung des Oberflächenabflusses.
- ▶ Mulchsaat alleine reduzierte über das ganze Jahr betrachtet laut Maetens et al. (2012) weder Oberflächenabfluss noch Bodenabtrag gegenüber konventioneller, wendender Bodenbearbeitung. Der Oberflächenabfluss schien sogar leicht höher als in der konventionellen Variante. Eine Einschätzung, ob die in Kapitel 2 definierten Anforderungen an eine effektive Mulchsaat eingehalten wurden (z.B. eine Bodenbedeckung von 30 %) war anhand der Daten von Maetens et al. (2012) nicht möglich, da sie auch in den Originalpublikationen häufig fehlte.
- ▶ Erlach (2005) dagegen fand bei einer Mulchsaat gar keinen Oberflächenabfluss bei Winterraps. Auch für Mais stellte Erlach (2005) eine deutliche Reduktion des Oberflächenabflusses durch Mulchsaat fest, für Winterweizen allerdings nur eine leichte Reduktion. Diese Reduktion trat auch in fortgeschrittenen Vegetationsperioden der drei Kulturen auf, obwohl sich zu dieser Zeit die Bodenbedeckung zwischen Pflug und Mulchsaat nur noch geringfügig unterschieden. Dies ist auf Unterschiede in der Bodenstruktur der Varianten zurückzuführen, die in der untersuchten Mulchsaatvariante zu erhöhter Infiltration und dadurch zu weniger Oberflächenabfluss und Wirkstoffverlusten führten (Erlach, 2005).
- ► Auch beim Einfluss der Mulchsaat auf die Bodenerosion beobachtete Erlach (2005) sowohl für Mais als auch für Winterweizen eine starke Reduktion
- ► Im Hinblick auf das Verhalten von Wirkstoffen stellte Erlach (2005) im Maisanbau für Terbuthylazin, Pendimethalin und Metolachlor durch Mulchsaat ereignisbasierte Reduktionen um jeweils mindestens 69, 78 und 60 % fest. Für Winterweizen im Nachauflauf reduzierte Mulchsaat den Gesamtaustrag von Chlortoluron im Oberflächenabfluss um 47 %. Der Gesamtaustrag von Isoproturon lag für Mulchsaat dagegen um mindestens 120 % höher als der sehr niedrige Austrag für die Pflugvariante. Dies lässt sich durch Desorption des relativ schwach sorbierenden Wirkstoffs Isoproturon vom Mulchmaterial während der Runoffereignisse erklären.

- ► Konturbearbeitung stellte sich als sehr wirksam in Bezug auf Oberflächenabfluss und Erosion heraus. Die Zuordnung zur Kontourbearbeitung war sehr heterogen und reichte von höhenlinienparallel angeordneten Dammkulturen bis zu höhenlinienparalleler Ablage des Saatgutes. Die in der Datenbank von Maetens et al. (2012) vorliegenden Plots mit Konturbearbeitung wiesen eine Hangneigung von 8-15 % aus. Außerhalb dieses Bereiches können daher über die Wirksamkeit von Konturbearbeitung keine Aussagen getroffen werden (Maetens et al., 2012).
- ▶ Mit Streifensaat wurden eine sehr hohe Reduktionseffizienz für den PSM-Austrag erzielt. Die Stichprobenzahl der von Dönges (2012) nicht ereignisbasiert zusammengetragenen Austragsverhältnisse betrug jedoch nur n = 4. In Bezug auf die jährliche Reduktion des Oberflächenabflusses durch Streifensaat (Maetens et al. 2012) konnte anhand einer Studie eine mäßige Reduktion festgestellt werden.
 - Die Reduktionswirkung von Bandapplikation auf den Wirkstoffaustrag über Runoff und Erosion beruht alleinig auf reduzierter Applikationsmenge pro Feld (Dönges, 2012).
- ► Für Baumkulturen (Oliven- und Obstbäume) und Weinbau war die Anzahl der verfügbaren Datenpunkte gering und die Dokumentation der Versuchsbedingungen sehr lückenhaft. Im Weinbau führte der Verzicht auf mechanische Bodenbearbeitung im Mittel zu einer Reduktion des Oberflächenabflusses und zu einer deutlichen Reduktion des Bodenabtrags. Angaben zur Wirkstoffreduktion lagen leider nicht vor.

Die Ergebnisse weichen insgesamt von der grundsätzlich positiven qualitativen Bewertung der unter konservierenden Bodenbearbeitungen genannten Maßnahmen in Kapitel 2.3 und 2.4 ab. Dies dürfte auf folgende Gründe zurückzuführen sein:

- ▶ Die grundsätzlich positive Einschätzung der Fachleute beruht auf einer bezüglich Erosionsschutz und Runoff-Reduktion wirksam ausgestalteten Mulchsaat, konkret mit einer hohen Bodenbedeckung von 30 % und einer niedrigen Bearbeitungsintensität.
- Es gibt beträchtliche Unterschiede wie eine Mulchsaat ausgestaltet sein kann. Bei einer weit gefassten Definition ist auch ein intensiv gegrubberter Acker mit feinem Saatbeet und nur noch wenig Bodenbedeckung noch eine Mulchsaat, aber sie hat kaum noch eine Wirkung für die Reduktion von Runoff und Erosion. Brandhuber (2014) ging auf diesen Sachverhalt ein und stellte heraus, dass die Ausgestaltung der Mulchsaaten (im Bsp. Mais) zukünftig und vermehrt so erfolgen sollte, widerstandsfähiger gegen Extremniederschläge zu sein, um damit die erorsionsmindernde Wirkung von Zwischenfruchtresten bis zum Reihenschluss der Hauptkultur bestmöglich auszunutzen. Die Reviews und häufig auch die Originalstudien enthielten keine Information, welche Art von Mulchsaat oder welche Art von nichtwendender Bodenbearbeitung angewandt wurde, oder dann nur ungenaue Angaben, z.B., dass gegrubbert wurde. Mit den vorliegenden Daten lässt sich deshalb die von den Fachleuten zugesprochene Wirksamkeit nicht quantitativ belegen.
- ► Auf den laut Destatis (2017) 40 % der Anbaufläche in Deutschland, die mit "konservierender Bodenbearbeitung" bewirtschaftete werden, dürften die Maßnahmen nur begrenzt Runoff-

Einträge reduzieren. Das legen die in Kapitel 2.3.2 erwähnten Evaluationen zur Umsetzung der Cross Compliance Bestimmungen zum Erosionsschutz nahe, die in der überwiegenden Mehrzahl Bodenbedeckung von unter 10 % aufgezeigt haben (Kistler, 2013).

▶ Die Reduktionsleistung der Mulchsaat und anderer Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung in Bezug auf Runoff und Erosion und Wirkstoffaustrag würde sich nur durch eine gezielte Sammlung von Studien nach der Methodik von Erlach (2005) fundierter einschätzen lassen.

3.4.3 Querdämme auf dem Feld

Für die Maßnahme Querdämme im Feld kann die Auswertung der Wirksamkeit aufgrund der detaillierten Datenlagen ereignisbasiert erfolgen (siehe Kapitel 3.3.3). Querdämme werden mit spezieller Technik auf dem Feld angelegt. Für die Kartoffel als klassische Dammkultur sind für diese Technik sog. Querdammhäufler verfügbar. Für Mais werden andere Techniken verwendet, z.B. der "anti-erosion drum plough" (Sittig et al., 2020b). Insofern gilt die folgende Auswertung vorrangig für die Kartoffel und im geringen Maß für Mais. Basis ist die von Sittig et al. (2020a) durchgeführte Metastudie (verwendete Studien siehe Tabelle 20 in Anhang B.1). Im Folgenden werden die Ergebnisse detailliert dargestellt.

3.4.3.1 Verminderung von Runoff und Erosion durch Querdämme

Mit der Auswertung von Sittig et al. (2020a) liegen sowohl ereignisbasierte Daten als auch Daten mit saisonalem Bezug zur Runoff- und Erosionsminderung von Querdämmen in Kartoffelanbau und Mais aus verschiedenen Studien (u.a. Olivier et al. 2014, Goffart et al. 2013, Aurbacher et al., 2010, Areas 2005 und 2007; siehe Tabelle 20 in Anhang B.1) vor. Die untersuchten Studien sind im Anhang B.1 zusammengestellt.

Aus den Untersuchungen von Sui et al. (2016) in Mais und Keshavarz et al. (2020) ohne Kultur lassen sich ebenfalls ereignisbasierte Daten ableiten. Die Querdämme haben jedoch eine andere Struktur als die im Review von Sittig et al. (2020a) untersuchten. Die Einzelergebnisse der Studien sind im Anhang aufgeführt.

Die Wirksamkeit von Querdämmen auf Runoff und Erosion lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- ▶ Die Verwendung von Querdämmen (Micro-dams) im Kartoffelanbau kann die Entstehung von Oberflächenabfluss vom Feld erheblich reduzieren. So wurde der Oberflächenabfluss für einzelne Ereignisse bis zu 100 % reduziert (komplette Eliminierung des Ereignisses, siehe Tabelle 21). Die Angabe einer prozentualen Reduktion ist jedoch nicht aussagekräftig, da diese stark von der Größe des Runoffereignisses in der Kontrolle abhängt. Aus diesem Grund wird die Wirksamkeit der Querdämme als Reduktion der Curve Number (siehe Kapitel 3.3.3) berechnet, sofern ereignisbasierte Daten vorliegen. Die Ergebnisse werden in Kapitel 3.4.3.2 diskutiert.
- ▶ Die im Kartoffelanbau verwendeten Querdämme erwiesen sich auch in Bezug auf Erosion als wirksam. Die Reduktion des saisonalen Bodenabtrags durch die Querdämme betrug 66 % bis 99,8 %. Detaillierte Ergebnisse für Erosion sind für die einzelnen Studien in Anhang B.1 zu finden: Olivier et al., 2014 (Tabelle 28), Goffart et al., 2013 (Tabelle 29), Aurbacher et al., 2010 (Tabelle 30) und Sui et al., 2016 (Tabelle 31).

- ▶ Im Bewässerungsfeldbau, der in Zukunft in Deutschland durch die Klimaerwärmung wahrscheinlich relevanter wird, können Querdämme den Verlust von Bewässerungswasser durch Oberflächenabfluss erheblich reduzieren und so die Bewässerungseffizienz erhöhen. Dies gilt sowohl für Furchenbewässerung (Keshavarz et al., 2020) als auch für Beregnung (Silva, 2017).
- ▶ Im Erdnussanbau unter simuliertem Niederschlag erwies sich Streifensaat (strip tillage) als wesentlich effektiver als Querdämme, sowohl in Bezug auf Oberflächenabfluss als auch auf Erosion (Truman and Nuti, 2010). Am effektivsten war die Kombination beider Maßnahmen (siehe Tabelle 26 in Anhang B.2).
- ▶ Die Reduktion des Oberflächenabflusses (Runoff) scheint nicht stark von der Größe der durch die Querdämme entstandenen Senken abzuhängen. Dies zeigen die von Silva (2017) zusammengestellten Runoff-Koeffizienten (Tabelle 27 für Becken ("basins") und Reservoirs ("reservoirs") im Vergleich zu Feldern ohne Querdämme und damit Senken unter künstlicher Beregnung. Sowohl Becken als auch Reservoirs (letztere sind kleiner, aber tiefer als Becken; vgl. in Anhang) stellten sich als effektiv in der Reduktion des Oberflächenabflusses gegenüber Felder ohne diese Strukturen heraus. Es lagen allerdings keine Studien vor, in denen sowohl Becken als auch Reservoirs untersucht wurden.

3.4.3.2 Reduktion des Wirkstoffaustrag durch Querdämme

Die Effektivität von Querdämmen hinsichtlich des Wirkstoff-Austrags bei Runoff und Erosion wurden nur in zwei der vorliegenden Studien im Kartoffelanbau gemessen. Die über die verschiedenen untersuchten Wirkstoffe gemittelte Reduktion des saisonalen Gesamtwirkstoffaustrags durch die Querdämme betrug 91 % (Olivier et al. (2014); n = 4; vgl. Tabelle 17) und 84 % (Goffart et al., 2013; n= 5; vgl. Tabelle 18).

Tabelle 17: Wirkstoff-Frachten in Oberflächenabfluss (Runoff) und erodiertem Sediment (Erosion) bezogen auf die Saison (aus Olivier et al. 2014, siehe Sittig at al. 2020a) und Reduktionseffizienzen der Querdämme in Kartoffeln

Phase	Probentyp	Aclonifen mg ha ⁻¹	Linuron mg ha ⁻¹	Flufenacet mg ha ⁻¹	Metribuzin mg ha ⁻¹	Mittlere Reduktion
Sediment	Kontrolle	29368	8802	3692	209	-
Sediment	Querdämme	929	435	113	16	-
Sediment	Reduktion	97 %	95 %	97 %	93 %	96 %
Wasser	Kontrolle	29368	8802	3692	209	-
Wasser	Querdämme	929	435	113	16	-
Wasser	Reduktion	97 %	95 %	97 %	93 %	96 %
Gesamtfracht	Kontrolle	30902	18750	7536	1802	-
Gesamtfracht	Querdämme	1000	1734	673	282	-
Gesamtfracht	Reduktion	97 %	91 %	91 %	84 %	91 %

Tabelle 18: Gesamtfrachten verschiedener Wirkstoffe in Oberflächenabfluss (Runoff) und erodiertem Sediment (Erosion) bezogen auf die Saison aus Goffart et al. 2013, siehe Sittig et al. 2020a) und Reduktionseffizienzen der Querdämme in Kartoffeln

Phase	Probentyp	Fluazinam mg ha ⁻¹	Mancozeb mg ha ⁻¹	Aclonifen mg ha ⁻¹	Flufenacet mg ha ⁻¹	Metribuzin mg ha ⁻¹	mittlere Reduktion
Gesamtfracht	Kontrolle	62	132560	21108	8651	3582	-
Gesamtfracht	Querdämme	28	3258	214	7	390	-
Gesamtfracht	Reduktion	56 %	94 %	99 %	100 %	70 %	84 ± 20 %

3.4.3.3 Schlussfolgerung für Querdämme (Micro-dams)

Pflanzenschutzmitteln

Aus den Ergebnissen der vorgestellten Studien zur Reduktionseffizienz von Querdämmen bzgl. Oberflächenabfluss, Erosion und Wirkstoffaustrag lassen sich folgende Schlüsse ziehen.:

- ▶ Die Reduktionseffizienz für den Oberflächenabfluss lässt sich gut über eine Reduktion der Runoff Curve Number beschreiben. Damit wird die Reduktionseffizienz durch die Querdämme automatisch abhängig vom Niederschlagsvolumen und ist wesentlich realistischer als ein pauschaler Prozentwert.
- ▶ Die Curve Number ist jedoch stark abhängig vom Bodenfeuchtestatus zu Beginn des Niederschlagsereignisses. Es ist daher ratsam, die Runoffmodellierung mit einem Modell wie z.B. PRZM durchzuführen, wo täglich der Wassergehalt im Boden berechnet und die Curve Number entsprechend angepasst wird.
- Die genaue Reduktion der Curve Number unter Referenzbedingungen im Vergleich zur Bodenbearbeitung ohne Querdamm ist in Abhängigkeit von Boden und Querdamm-Methode auszuwählen. Sittig et al. (2020a) empfehlen für die FOCUS R-Szenarien eine Reduktion der Curve Number durch Querdämme um 10 Punkte (Kartoffeln) bzw. 3 Punkte (Mais). Der Wert von 10 scheint prinzipiell für die Kartoffel mit definierter Querdammmethode angemessen. Wir würden jedoch vorschlagen, für die Reduktion der Curve Numbers für Kartoffeln in den jeweiligen FOCUS R-Szenarien auch die neu gesammelten Daten von Sui et al. (2016) miteinzubeziehen (die von Sui et al. (2016) in Mais eingesetzten Querdämme waren den in Europa im Kartoffelanbau verwendeten wesentlich ähnlicher als den im Maisanbau verwendeten). Für Mais müssten ebenfalls weitere Daten (z.B. die von Sittig et al (2020b) gesammelten) in die Auswertung einbezogen werden. Bei der Auswertung sollten die Standorthydrologie und die Bodentextur aller experimentellen Standorte, sowie (aufgrund der Abhängigkeit der Curve Number von der Bodenfeuchte) die Bodenwassergehalte für die einzelnen Ereignisse berücksichtigt werden.
- ▶ Eine Grundvoraussetzung für die Wirksamkeit der Querdämme in Bezug auf die Reduktion von Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Wirkstoffaustrag ist die fachlich korrekte Anlage der Querdämme. Für den Kartoffelanbau stehen kommerzielle Querdammhäufler (Sittig et al. 2020b) sowie Lochsterne (Lemann et al., 2019) zur Verfügung. Für den Mais scheinen

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

angepasste Scheibenpflüge und Rohrstabwalzen (Sittig at al. 2020 a und b) geeignet. Prinzipiell gilt: Mit zunehmender Hangneigung in Richtung der Furche müssen die Abstände zwischen den Querdämmen kürzer und/oder die Querdämme höher werden (Aurbacher et al. 2010, Areas, 2007). Bei einem Gefälle von 15 % kann es bereits zu Durchbrüchen der Querdämme kommen (Aurbacher et al., 2010). In steileren Lagen ist allerdings ohnehin höhenlinienparallele Bodenbearbeitung zu empfehlen statt Bearbeitung in Gefällerichtung. Da eine fernerkundliche Untersuchung der Querdämme bisher nicht möglich ist, müsste die Korrektheit der Querdämme gegebenenfalls mittels Ortsbegehung überprüft werden.

3.5 Eignung der Maßnahmen für die Umweltexpositionsabschätzung im Rahmen der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln

In Kürze

In diesem Kapitel wird untersucht, inwieweit die Maßnahmen vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Quantifizierung geeignet sind, in der quantitativen, expositionsmindernden Risikobewertung eingesetzt zu werden. Es zeigt sich, dass bei grasbewachsenen Filterstreifen (vegetated filter strips, VFS) außerhalb der Nutzfläche, die Breite des Filterstreifens nicht geeignet ist, dass Maß der Reduktion von Oberflächenabfluss (ΔQ), Erosion (ΔE) oder Wirkstofftracht (ΔP) vorherzusagen. Stattdessen hat der Gesamtzuflusse Q_i (normiert auf die VFS-Fläche) einen höheren Einfluss auf die Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ als die Filterstreifenbreite VL. Bedingt durch die Vielzahl der Einflussfaktoren und die Nichtlinearität der Prozesse sind eine mechanistische Modellierung von Infiltration und Sedimentation im grasbewachsenen Filterstreifen nötig. Für bodenkonservierende Maßnahmen im Feld zeigt sich, dass eine Quantifizierung des Effekts noch schwieriger ist als bei den grasbewachsenen Filterstreifen und die Maßnahmen anhand der derzeitigen Datenlage für die Umweltexpositionsabschätzung nicht geeignet sind. Dagegen ist die Anlage von Querdämmen eine Maßnahme, die prinzipiell zu einer quantifizierbaren Reduktion führt, dies kann durch eine Anpassung der für die Berechnung des Runoff-Ereignisses verwendeten Curve Number erfolgen. Allerdings ist die Maßnahme aktuell nur für wenige Kulturen durchführbar (Kartoffeln, Mais).

3.5.1 Grasbewachsene Filterstreifen (vegetated filter strip, VFS)

Grasbewachsene Filterstreifen gehören zu den klassischen Risikominderungsmaßnahmen für die Reduktion des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln über Runoff in benachbarte Gewässer nach Starkregenereignissen. Da die grasbewachsenen Filterstreifen am Feldrand, d.h. außerhalb der behandelten Fläche, angelegt werden, haben sie den Vorteil, dass sie ihre Wirkung unabhängig von der auf der Nutzfläche angebauten Kultur entfalten. Die im vorherigen Kapitel durchgeführte Auswertung konzentrierte sich auf die Frage, wie die Reduktionsleistung in Abhängigkeit verschiedener unabhängiger Studienparameter (z.B. Niederschlag, Bodeneigenschaften, Breite des Randstreifens) vorhergesagt werden kann. Dabei wurden drei entscheidenden Zielvariablen, mit denen die Eignung der Maßnahme (hier grasbewachsenen Filtertreifen) als Risikominderungsmaßnahme eingeschätzt wird, betrachtet:

- 1. Reduktion des Gesamtzuflusses (Oberflächenabfluss vom Feld + Niederschlag auf den VFS; ΔQ),
- 2. Reduktion der Fracht erodierten Bodenmaterials (ΔE) sowie
- 3. Reduktion des Wirkstoffaustrags aus dem Feld (ΔP).

Aus den Ergebnissen der Analyse des von Reichenberger et al. (2019) zusammengestellten Testdatensatzes (n = 244) lassen sich folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich dieser Zielvariablen für die Bewertung von grasbewachsene Filterstreifen ziehen:

- Die Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ lässt sich mit den verfügbaren unabhängigen Variablen (einströmendes Oberflächenabflussvolumen (Run-on), Niederschlag, organische Bodensubstanz und Tongehalt des Oberbodens Feldes, Filterstreifenbreite) mäßig gut statistisch vorhersagen.
- Für die Berechnung der Reduktion der Fracht erodierten Bodenmaterials ΔE ist die Kenntnis der Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ erforderlich. Allgemein ist die Qualität der

Vorhersage der Reduktion des erodierten Bodenmaterials ΔE mit Hilfe statistischer Verfahren eher unsicher und für die Fragestellung nicht genau genug.

Nur wenn die Werte bezüglich Reduktion des Gesamtzuflusses (ΔQ) und Reduktion des Erosionsereignisses (ΔE) vorliegen, lässt sich die Abnahme des Wirkstoffaustrags ΔP mit statistischen Methoden gut berechnen. Die Unsicherheiten in den Werten für ΔQ und ΔE bedingen jedoch, dass die Unsicherheiten im Zielwert ΔP noch größer sind. Das bedeutet, dass grundsätzlich ΔQ und ΔE möglichst exakt berechnet werden müssen.

Derzeit ist in der Umweltrisikobewertung für die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland die prognostizierte Wirkstoffreduktion durch einen Filterstreifen bei einem Runoff-Ereignis an die Breite des Filterstreifens gekoppelt. Dabei wird zum Beispiel davon ausgegangen, dass eine Filterstreifenbreite von 10 m zu einer Reduktion von 60 % des Oberflächenabflusses (Runoff) und des darin enthaltenen Wirkstoffanteils führt. Für die Sedimentphase wird bei gleicher Filterstreifenbreite von einer Reduktion von 85 % für den Bodenfluss und den darin enthaltenen Wirkstoffanteil ausgegangen. Das Maß der Reduktionsfaktoren sowie deren Anwendung in der Umweltrisikobewertung entsprechen den Empfehlungen von FOCUS (2007 a und b). Allerdings zeigt die Analyse des von Reichenberger et al. (2019) zusammengestellten Testdatensatzes (n = 244) in Kapitel 3.4.1, dass die Breite des Filterstreifens nicht geeignet ist, das Maß der Reduktion des Gesamtzuflusses (ΔQ), der Fracht erodierten Bodenmaterials (ΔE) oder der Wirkstofffracht (ΔP) vorherzusagen. Stattdessen hat der Gesamtzufluss in den Filterstreifen (Run-on und Niederschlag) Qi (normiert auf die VFS-Fläche) einen höheren Einfluss auf ΔQ. Neben der Filterstreifenbreite wurde ebenso der Einfluss anderer Parameter (einströmendes Oberflächenabflussvolumen, Fracht erodierten Bodenmaterials, Niederschlag, organische Bodensubstanz und Tongehalt des Oberbodens Feldes) auf die Reduktion des Gesamtzuflusses (ΔQ) durch den Filterstreifen geprüft. ΔQ lässt sich mit der Gesamtheit der vorliegenden unabhängigen Variablen mäßig gut vorhersagen. Ein - wie bisher verwendeterfixer Reduktionsfaktor in Abhängigkeit einer bestimmten Variablen ist aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren und der Nichtlinearität der Prozesse nicht sinnvoll.

Stattdessen sollten bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln mechanistische Modellierungen von Infiltration und Sedimentation im grasbewachsenen Filterstreifen eingesetzt werden, um zu berechnen, ob ein grasbewachsener Filterstreifen für die Risikominderung von Pflanzenschutzmitteln geeignet ist. Durch die Modellierung kann die jeweilige Reduktionswirkung in Abhängigkeit a) des Starkregenereignisses, b) der Bodeneigenschaften, c) der Fläche des Feldes sowie der Hangneigung des Filterstreifens und d) der individuellen Bodenfeuchtebedingungen im Filterstreifen zum Zeitpunkt des Runoffereignisses genauer berechnet werden. Eine Realisierung kann zum Beispiel mit dem Programm VFSMOD (Muñoz-Carpena and Parsons, 2014) erfolgen. Dabei führt die Infiltration zur Reduktion des Gesamtzuflusses (ΔQ), und die Sedimentation zur Reduktion der Sedimentfracht (ΔΕ).

Für die Vorhersage der Reduktion der Wirkstofffracht ΔP aus ΔQ , ΔE und anderen unabhängigen Variablen können bestehende Gleichungen (*pesticide trapping equations*) verwendet werden. Das Programm VFSMOD enthält ab Version v.4.40 vier alternative *pesticide trapping equations*:

- die multiple Regressionsgleichung von Sabbagh et al (2009)
- b die neu kalibrierte und validierte Sabbagh-Gleichung (Reichenberger et al., 2019)
- b die rein statistische multiple Regressionsgleichung von Chen et al. (2016)

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

 den regressionsfreien, mechanistischen Massenbilanzansatz von Reichenberger et al. (2019 und 2017)

Die vorliegenden Daten von Lecomte (1999) zu Varianten von grasbewachsenen Filterstreifen auf dem Feld lassen noch keine abschließende Bewertung zur Wirksamkeit zu und können deshalb derzeit nicht als reduktionsmindert in einer Umweltexpositionsbewertung empfohlen werden.

3.5.2 Bodenkonservierende Maßnahmen

Im Kapitel 3.4.2 wurden die Auswirkung verschiedener bodenkonservierender Maßnahmen untersucht. Dabei lag der Fokus als Ergebnis der Priorisierung in Kapitel 2 auf Mulch- und Direktsaat. Darüber hinaus wurden allerdings auch weitere Maßnahmen analysiert wie z.B. Konturbearbeitung (Richtung der Bodenbearbeitung folgt den Höhenlinien) und Streifensaat. Zwischenfrüchte wurden als unabdingbarer Teil eines Mulchsaat- bzw. Direktsaatverfahrens bereits bei den dortigen Maßnahmen geprüft.

Insgesamt zeigte die Auswertung, dass es bei allen diesen Maßnahmen deutlich schwieriger ist, die Reduktionswirkung zu quantifizieren als bei den anderen beiden diskutierten Methoden, grasbewachsene Filterstreifen am Feldrand und Querdämme im Feld. Es liegen nicht genügend Studien wie Erlach (2005) mit ereignisbezogenen Ergebnissen bei ausreichender Dokumentation der Versuchsbedingungen vor, um für die Maßnahmen eine Curve Number (siehe Kapitel 3.3.3) abzuleiten, die dann im regulatorischen Modell PRZM eine Berechnung von Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Wirkstoffaustrag bei Anwendung der Maßnahme ermöglicht.

Vor diesem Hintergrund sind die nachfolgenden Maßnahmen zurzeit nicht geeignet für eine quantitative Umweltexpositionsbewertung im Rahmen der Pflanzenschutzmittelzulassung:

Mulchsaat: Die Auswertung zeigte variable Ergebnisse; i) manchmal wurde eine Verringerung des Oberflächenabflusses beobachtet (Erlach, 2005), in anderen Fällen eine leichte Erhöhung (Maetens et al., 2012). ii) Ähnlich verhielt es sich für den Bodenabtrag (Erosion): Erlach (2005) stellte eine deutliche Reduktion des Bodenabtrags durch Mulchsaat fest, wohingegen im Datensatz von Maetens et al. (2012) im Median kein Effekt nachgewiesen wurde. Ursachen für die breite Variabilität der Effektivität der Mulchsaat zur Reduktion des Oberflächenabflusses, der Erosion und der Wirkstofffracht sind u.a.:

- "Hohe Variabilität bzw. nicht ausreichende Bodenbedeckung" (Maetens et al., 2012): möglicherweise wurden in den entsprechenden Parzellenversuchen keine ausreichende Bodenbedeckung der Mulchsaat außerhalb und zu Beginn der Anbauperiode erreicht. Aufgrund der lückenhaften Dokumentation der Versuchsbedingungen kann keine eindeutige Aussage getroffen werden.
- ▶ "Erhöhter Runoff-Austrag von Isoproturon nach Nachauflaufapplikation in Winterweizen" (Erlach, 2005): Die Beobachtung weist darauf hin, dass Desorption von schwach sorbierenden Wirkstoffen vom Mulchmaterial während Runoffereignissen ein Problem darstellen könnte.

Schlussfolgerung: Angesichts der variablen Ergebnisse in Bezug auf die Reduktion von Runoff und Erosion sowie in Bezug auf die Dokumentation der Versuchsbedingungen kann die Mulchsaat nicht in einer quantitativen Umweltexpositionsbewertung eingestellt werden.

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Zusätzliche ereignisbasierte Daten mit Angaben zu Versuchsbedingungen, insbesondere zur Bodenbedeckung, sind für eine ausreichende quantitative Abstützung nötig. Unabhängig von der genauen Effektivität der Maßnahme ließen sich bereits jetzt Synergien mit der aus Sicht des Bodenschutzes nötigen Bodenbedeckung von 30 % nutzen. Die wenigen Ergebnisse von Erlach (2005) zeigen, dass eine Bodenbedeckung von > 30 % Runoff und Erosion reduzieren kann.

Direktsaat: Die Ergebnisse sind ebenfalls variabel. i) Erlach (2005) beobachtete keinen Oberflächenabfluss unter Direktsaat während der Messperioden im Vergleich zu Flächen ohne Direktsaat. Die Daten aus den Parzellen, welche von Maetens et al. (2012) zusammengefasst wurden, zeigen hingegen keine Reduktionswirkung auf das Runoff-Volumen durch Direktsaat. Bei hohen jährlichen Runoff-Volumina war der Bodenabtrag durch Direktsaat jedoch klar reduziert. ii) Die Auswertung der von Dönges (2012) und Fawcett et al. (1994) zusammengestellten Daten ergab im Mittel eine hohe Reduktionseffizienz für PSM-Austräge im Oberflächenabfluss bei Direktsaat jedoch mit starker Streuung der Einzelergebnisse. Es gilt dabei die Möglichkeit zu beachten, dass Direktsaat und konservierende Bodenbearbeitung generell zu erhöhten Leaching- und Drainage-Austrägen führen kann (Benoit 2013); zum einen durch eine höhere Anzahl von durchgehenden präferentiellen Fließwegen, zum anderen durch einen potenziell erhöhten Einsatz von Herbiziden (Dachbrodt-Saaydeh 2021). Es wäre sinnvoll, das genaue Ausmaß dieses Problems in einer experimentellen Studie explizit zu untersuchen.

Schlussfolgerung: Grundsätzlich wird in Direktsaat ein Potential zur Reduktion von Runoff und Wirkstofffracht gesehen. Bevor Direktsaat als regulatorische Maßnahme zur Reduktion des PSM-Runoff-Austrags empfohlen werden kann, sollte die Frage eines möglichen erhöhten Austrags durch Leaching und Drainage geklärt werden.

Konturbearbeitung: Der Anbau von Kulturpflanzen parallel zu den Höhenkonturlinien erweist sich prinzipiell als sehr effektiv gegen Oberflächenabfluss und Erosion, was anhand der Reduktion des Oberflächenwasserabflusses auf 17 % und des Bodenverlustes auf 12 % (Angabe als Median) deutlich wird. Abgesehen vom niedrigsten absoluten Wertebereich erwies sich Konturbearbeitung also als sehr effektive Maßnahme. Dennoch erscheint eine Empfehlung, diese Maßnahme bei der quantitativen Umweltexpositionsabschätzung anzuwenden, angesichts der Datenlage und der lückenhaften Dokumentation der Versuchsbedingungen als verfrüht. Den positiven Effekt der Konturbearbeitung erreicht man nur, wenn grundsätzlich alle Bearbeitungsschritte bei der Kultur höhenparallel erfolgen und nicht nur die Ablage der Saat. Das genaue Vorgehen in den vorliegenden Studien ist allerdings nicht eindeutig beschrieben. Die im regulatorischen Kontext verwendete Modellierung des Runoffaustrages mit dem Modell FOCUS PRZM geht aufgrund der Parametrisierung im Modell (Curve Number und Wahl des "universal soil loss equation practice factor" (USLEP) entsprechend "contoured, good condition") bereits von einer Konturbearbeitung ab Feldauflauf der Kultur bis zur Ernte aus, jedoch nicht für die Zeit nach dem Umpflügen.

Streifensaat: In der Untersuchung von Dönges (2012) wies die Streifensaat die größte Reduktionswirkung aller untersuchten bodenkonservierenden Maßnahmen Feld bezüglich des Wirkstoffaustrags auf (Reduktion auf 3 %, also eine Reduktion um den Faktor 33). Dieser Methode muss deshalb auch ein beträchtliches Potential zugewiesen werden. Allerdings lagen zur dieser Bodenbearbeitungsform nur wenige Studienergebnisse vor (n=4) vor.

Schlussfolgerung: Obwohl die Qualität dieser Werte als hoch eingeschätzt wurde, kann aufgrund der geringen Anzahl von Studien zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Empfehlung für die Berücksichtigung der Maßnahme in einer quantitativen Umweltexpositionsbewertung gegeben werden.

Weitere nicht wendende Bodenbearbeitung (Grubber, Dammsaat und Pflügen ohne Saatbettbearbeitung) (Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994): Bei den Verfahren handelt es sich um verschiedene Varianten der nichtwendenden Bodenbearbeitung, teilweise aus der nordamerikanischen Landwirtschaft ("ridge till - Dammsaat", "till plant – Pflügen ohne Saatbettbearbeitung"). Die Ergebnisse, die nur für die Wirkstofffracht bezogen auf die Anbausaison vorliegen, waren heterogen und wiesen extreme Schwankungsbreiten auf.

Schlussfolgerung: Angesichts dieser Ergebnisse sind diese Maßnahmen für die Anwendung in einer quantitativen Umweltexpositionsbewertung nichtgeeignet. Bei einzelnen Maßnahmen ist nicht klar ist, ob die Maßnahme auf europäische Bedingungen übertragbar sind oder ob die Bearbeitungsvariante in Europa üblich ist.

Permanente Bodenbedeckungskultur in Dauerkulturen: Für Baumkulturen (Oliven- und Obstbäume) und Weinbau war die Anzahl der verfügbaren Datenpunkte gering und die Dokumentation der Versuchsbedingungen sehr lückenhaft. Im Weinbau führte der Verzicht auf mechanische Bodenbearbeitung im Mittel zu einer Reduktion des Oberflächenabflusses und zu einer deutlichen Reduktion des Bodenabtrags. Die Maßnahme hat daher zweifellos Potential, wie die deutliche Reduktion von Oberflächenabfluss und Erosion bei den wenigen Datenpunkten zeigte.

3.5.3 Querdämme auf dem Feld

Die im vorherigen Kapitel durchgeführte Auswertung hat gezeigt, dass die Verwendung von Querdämmen die Entstehung von Oberflächenabfluss vom Feld erheblich reduzieren kann. Allerdings ist diese Methode – anders als klassische Risikominderungsmaßnahmen wie grasbewachsene Filterstreifen – von der angebauten Kultur abhängig. In diesem Bericht wurden die Daten zu Kartoffeln und Mais ausgewertet. Aber auch im Bewässerungsfeldbau können Querdämme den Verlust von Bewässerungswasser durch Oberflächenabfluss wesentlich verringern und so die Bewässerungseffizienz erhöhen (Keshavarz et al., 2020).

Schlussfolgerung: Insgesamt kann aus den ausgewerteten Untersuchungen geschlossen werden, dass die Anlage lokaler Strukturen zur Reduktion des Wasserabflusses eine wirkungsvolle Maßnahme zur Reduktion von Oberflächenabfluss und damit Wirkstoff darstellt. Allerdings ist erforderlich, dass die jeweilige Kultur die Anlage von Querdämmen erlaubt und die entsprechende Technik verfügbar sein muss, die die Dämme in die Furchen zieht. Bei der Kartoffel sind sog. Querdammhäufler verfügbar. Bei Mais scheinen angepasste Scheibenpflüge (disc plough) und angepasste Rohrstabwalzen (drum plough) geeignet (Sittig et al., 2020a und b).

Da zumindest für Kartoffeln eine ausreichende ereignisbasierte Datenbasis vorliegt, mit der Auswertungen durchgeführt werden können, erscheint die Maßnahme für Kartoffeln geeignet. Für die Umweltexpositionsbewertung kann die Wirkung der Querdämme in Kartoffel über eine angepasste Curve Number (siehe Kapitel 3.3.3) in den regulatorischen Modell PRZM zur Berechnung von Runoff und gelöstem Wirkstoffaustrag eingestellt werden. Die Reduzierung des Oberflächenabflusses durch Querdämme geht zusätzlich mit einer deutlichen Reduktion des parallelen Erosionsereignisses einher, wodurch auch Wirkstoffausträge über die Sedimentphase reduziert werden können. Ursprünglich wurden Querdämme sogar explizit zur Erosionsreduktion entwickelt (z.B. Aurbacher et al., 2010). Quantitative Ergebnisse zur Reduktion des Wirkstoffaustrags wurden allerdings nur in zwei der vorliegenden Studien gemessen. Dabei betrug die mittlere Reduktion des gesamten Wirkstoffs durch die Querdämme 80 % bis 90 %. Dies deutet ebenfalls darauf hin, dass die Maßnahme grundsätzlich geeignet ist, das Risiko des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer zu vermindern.

3.6 Vorschläge zur praktischen Umsetzung der Maßnahmen in der quantitativen Umweltexpositionsabschätzung

Nachdem zunächst die grundsätzliche Eignung verschiedener Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrags von Pflanzenschutzmittel durch Oberflächenabfluss und Erosion im Mittelpunkt stand, können nach Analyse der vorliegenden Daten zur Wirksamkeit der Maßnahmen nur folgende zwei Maßnahmen zur quantitativen Umweltexpositionsabschätzung empfohlen werden.

- 1. grasbewachsenen Filterstreifen am Feldrand (vegetated filter strips, VFS)
- 2. Anlage von Querdämmen im Feld (Micro-dams)

Weitere bodenkonservierende Maßnahmen im Feld (z.B. Mulchsaat, Direktsaat, Streifensaat, permanente Bodenbedeckung bei Dauerkulturen) können in der quantitativen Umweltexpositionsabschätzung nicht als eigenständige Maßnahme einbezogen werden. Hier reicht die Datenlage nicht aus, um belastbare quantitative Größen hinsichtlich ihrer Reduktionsleistung abzuleiten. Dies begründet sich einerseits in der geringen Anzahl verfügbarer Studien, nicht ausreichender Dokumentation der Studienbedingungen und/oder der Heterogenität der gemessenen Reduktionsleistung der Maßnahme.

3.6.1 Grasbewachsene Filterstreifen

Die Auswertung im Kapitel 3.4 konzentrierte sich auf verschiedene statistische Verfahren, um die Wirksamkeit von grasbewachsenen Filterstreifen zu untersuchen. Es hatte sich gezeigt, dass diese verbreitete und anerkannte Risikominderungsmaßnahme grundsätzlich sehr wirksam zur Reduzierung von Pflanzenschutzmittel-Einträgen in Gewässer ist. Es gelang jedoch nicht, allein auf Basis von statistischen Methoden die gemessene Reduktionseffizienz mathematisch zu beschreiben. Die Ursache dafür liegt in der Komplexität und Nichtlinearität der beteiligten Prozesse, insbesondere Infiltration und Sedimentation, auf die unter anderem der Gesamtzufluss (Niederschlag + Oberflächenabfluss vom Feld), die Fracht erodierten Bodenmaterials, der Feldboden (Textur, Gehalt an organischer Substanz), Fläche und Breite (= Länge in Fließrichtung) des Filterstreifens und der Zustand des Filterstreifens (Bewuchs, hydraulische Eigenschaften, Bodenfeuchte zu Beginn des Ereignisses) einen Einfluss haben. Daher ist auch ein einheitlicher Reduktionsfaktor für den Oberflächenabfluss, das Erosionsereignis oder den Wirkstoffaustrag in Abhängigkeit der Filterstreifenbreite nicht sinnvoll. Stattdessen sollte für zulassungsrelevante Fragen eine mechanistische Modellierung der Infiltration und Sedimentation erfolgen, welche die Reduktion durch den Filterstreifen in Abhängigkeit der zuvor genannten Variablen zu berechnen vermag. Die berechnete Reduktionseffizienz für den Gesamtzufluss ΔQ (Oberflächenabfluss + Regen auf den Pufferstreifen) und für die Fracht erodierten Bodenmaterials ΔE dienen als Eingangsvariablen für die Berechnung der Reduktion der Wirkstofffracht in sog. pesticide trapping equations (vgl. Abschnitt 3.4.1). Diese Gleichungen können regressionsbasiert (z.B. Sabbagh et al., 2009) oder mechanistisch sein (z.B. Massenbilanzansatz von Reichenberger et al., 2019). Prinzipiell wäre auch möglich, für die Vorhersage der Reduktion der Wirkstofffracht anstelle der trapping equations Entscheidungsbäume (z.B. CART oder Random Forest) zu verwenden. Dies ändert aber nichts an der Notwendigkeit einer mechanistischen Modellierung von Infiltration und Sedimentation. Derzeit ist eine solche Modellierung im landwirtschaftlichen Kontext nur mit dem Modell VFSMOD (Muñoz-Carpena and Parsons, 2014) möglich. Für urbane Verhältnisse mit geringen Sedimentfrachten wäre hier noch das Modell TRAVA (Deletic, 2001) zu erwähnen, welches VFSMOD konzeptionell ähnlich ist.

3.6.2 Querdämme (Micro-dams) auf dem Feld

Aus den vorliegenden Studien ist abzuleiten, dass die zu erwartenden Reduktionen stark vom Bodenfeuchtestatus zu Beginn des Starkniederschlagsereignisses abhängen. Daher ist wie beim grasbewachsenen Filterstreifen die Verwendung eines einheitlichen Reduktionsfaktors für den Oberflächenabfluss, das Erosionsereignis oder den Wirkstoffaustrag in der Expositionsbewertung nicht sinnvoll. Stattdessen wäre ratsam, die Runoffmodellierung mit einem Computermodell wie z.B. PRZM durchzuführen. Das Modell sollte täglich den Wassergehalt im Boden berechnen und dadurch für jedes Runoffereignis eine sinnvolle Reduktion berechnen können, indem die Curve Number als Modellparameter für die Reduktion des Oberflächenabflusses durch die Maßnahme (hier Querdämme) entsprechend angepasst wird. Dieser Ansatz ist im Modell PRZM, welches bereits im regulatorischen Kontext zur Expositionsbewertung von Pflanzenschutzmitteln für den Eintragspfad Runoff auf EU-Ebene verwendet wird, umgesetzt.

Die genaue Reduktion der Curve Number unter Referenzbedingungen im Vergleich zur Bodenbearbeitung ohne Querdamm ist in Abhängigkeit von Boden und Querdamm-Methode auszuwählen. Sittig et al. (2020a) empfehlen für die FOCUS R-Szenarien eine Reduktion der Curve Number durch Querdämme um 10 Punkte (Kartoffeln) bzw. 3 Punkte (Mais). Der Wert von 10 scheint prinzipiell für die Kartoffel mit definierter Querdammmethode angemessen. Die Autoren des vorliegenden Berichts schlagen jedoch vor, für die Reduktion der Curve Number für Kartoffeln in den jeweiligen FOCUS R-Szenarien auch die neu gesammelten Daten von Sui et al. (2016) miteinzubeziehen. Für Mais müssten ebenfalls weitere Daten (z.B. die von Sittig et al (2020b) gesammelten) in die Auswertung einbezogen werden. Bei der Auswertung sollten die Standorthydrologie und die Bodentextur aller experimentellen Standorte, sowie (aufgrund der Abhängigkeit der Curve Number von der Bodenfeuchte) die Bodenwassergehalte für die einzelnen Ereignisse berücksichtigt werden.

Eine Grundvoraussetzung für die Wirksamkeit der Querdämme in Bezug auf die Reduktion von Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Wirkstoffaustrag ist die fachlich korrekte Anlage der Querdämme. Für den Kartoffelanbau stehen kommerzielle Querdammhäufler zur Verfügung (Sittig et al. 2020b). Für den Mais scheinen Scheiben- und Tronmmelpflug geeignet (Sittig at al. 2020 a und b). Prinzipiell gilt: Mit zunehmender Hangneigung in Richtung der Furche müssen die Abstände zwischen den Querdämmen kürzer und/oder die Querdämme höher werden (Aurbacher et al. 2010, Areas, 2007). Bei einem Gefälle von 15 % kann es bereits zu Durchbrüchen der Querdämme kommen (Aurbacher et al., 2010). In steileren Lagen ist allerdings ohnehin höhenlinienparallele Bodenbearbeitung zu empfehlen, statt Bearbeitung in Gefällerichtung. Da eine fernerkundliche Untersuchung der Querdämme bisher nicht möglich ist, müsste die Korrektheit der Querdämme gegebenenfalls mittels Ortsbegehung überprüft werden.

3.6.3 Vorschläge für eine Kombination von Maßnahmen

Die Analyse der vorhandenen Arbeiten zur Reduktion des Oberflächenabflusses bei Verwendung verschiedener Minderungsmaßnahmen zeigte, dass es schwierig ist, die Wirkung einer einzelnen Maßnahme zu quantifizieren. Die Heterogenität des vorhandenen experimentellen Datenmaterials bezüglich Dokumentation der Studienbedingungen, Durchführung der Studie und Ergebnis erschwert eine Aggregation von verschiedenen Studien. Das zeigt sich vor allem bei den bodenkonservierenden Maßnahmen auf dem Feld.

Allgemein gilt, dass von einem zusätzlichen synergetischen Effekt ausgegangen werden kann, wenn Maßnahmen auf dem Feld (z.B. Querdämme, Mulchsaat, Direktsaat) mit einem grasbewachsenen Filterstreifen kombiniert werden. Hintergrund ist, dass die

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Reduktionseffizienz eines Filterstreifens für Runoff von der hydraulischen Last abhängt, so dass sich bei einer geringeren Belastung des Filterstreifens (aufgrund einer zusätzlichen Maßnahme auf dem Feld) die Wirkung des Filterstreifens erhöht. Das gleiche gilt auch für den Bodenabtrag. Insofern wird prinzipiell eine Kombination verschiedener Risikominderungsmaßnahmen empfohlen, d.h. bodenkonservierende Maßnahmen können eine zusätzliche unterstützende Methode darstellen.

Da die Auswertung aber gezeigt hat, dass die Breite des Filterstreifens nicht ausreichend für eine Vorhersage der Reduktionseffizienz ist, müsste die Kombinationswirkung mehrerer Maßnahmen simuliert werden, bevor man zu konkreten Empfehlungen für die Umsetzung kommt. Dafür könnte eine Kopplung der Modelle PRZM und VFSMOD verwendet werden. Bevor als wie oben beschrieben die Wirksamkeit der Filterstreifen über eine mechanistische Modellierung (z.B. mit VFSMOD) geprüft wird, wären bodenkonservierende Maßnahmen auf dem Feld oder Querdämme über angepasste Parametrisierung im Modells PRZM, d.h. über Änderung der Curve Number, zu berücksichtigen. Für die Simulierung von Querdämmen auf dem Feld, wurden bereits Vorschläge zur quantitativen Implementierung in das regulatorische Modell PRZM über eine Reduktion der Curve Number gemacht (Sittig et al. 2020a). Dies gilt so nicht für bodenkonservierenden Maßnahmen (Mulchsaat, Direktsaat). Hier müssten ausreichend experimentelle Daten gesammelt werden, die eine ereignisbasierte Kalibrierung der Curve Number erlauben.

4 Quellenverzeichnis

Agassi M. und Levy G. J. (1993): Effect of the dyked furrow technique on potato yield, Potato Res 36, 247-251

AID (2015): Gute Fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz, aid infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e.V. (AID)

AID (2016): Gute Fachliche Praxis – Bodenfruchtbarkeit, aid infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e.V. (AID)

Alix, A. et al. (ed.) (2017): MAgPIE. Mitigating the Risks of Plant Protection Products in the Environment. From the two-part SETAC Workshop Mitigating the Risk of Plant Production Products in the Environment. 22–24 April 2013 Rome, Italy, 13–15 November 2013 Madrid, Spain. SETAC, ISBN: 978-1-880611-99-9

Alletto L., Coquet Y., Benoit P., Heddadj D., Barriuso E., (2010): Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. Agron. Sustain. Dev. 30 (2010) 367-400.

Areas (2005): Réduction du ruissellement de printemps sur pomme de terre—effet des micro-barrages. http://www.areas -asso.fr/image s/resul tats %20ess ais %20sim ul/AREAS -2005-11.pdf.

Areas (2007): Pomme de terre. Limiter la formation du ruissellement en sol limoneux. Simulation de pluie (30 mm) juin 2007 Saint-Jouin-Bruneval. http://www.areas -asso.fr/wp-conte nt/uploa ds/2016/11/8-pomme s-deterre.pdf.

Aurbacher J, Krimly T, Billen N (2010) Querdammhäufler verringert Boden- und Wasserverluste—ein Gerät zur Erosionsverringerung im Kartoffelbau. Landwirtschaftliches Wochenblatt/Hessenbauer/Ausgabe Süd

Bach M, Guerniche D, Thomas K, Trapp M, Kubiak R, Hommen U, Klein M, Reichenberger S, Pires J, Preuß T (2017): Bewertung des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer – Runoff, Erosion und Drainage, GERDA - GEobased Runoff, erosion and Drainage risk Assessment for Germany. Forschungskennzahl 3711 63 427. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. ISSN 1862-4359, 553 p.

Baux, A.; Schumacher, P. (2019): Einführung der Rapskultur mit Untersaat: Die Schweizer Produzenten kommen zu Wort, Agrarforschung Schweiz 10 (3), S. 128–133

Beisecker, R.; Dießelberg, F.; Seith, T.; Senoner, F.; Zettl, E.; Strom, A.; Hannappel, S. (2019): Veränderungen der Wasseraufnahme und -speicherung landwirtschaftlicher Böden und Auswirkungen auf das Überflutungsrisiko durch zunehmende Stark- und Dauerregenereignisse, FKZ 3717 48 242 0

Benoit, P., Alletto, L., Barriuso, E., Bedos, C., Gernier, P., Mamy, L., Pot, V., Real, B., Vieuble-Gondo, L. (2013): Travail du sol et risques de transferts de produits phytosanitaires in J. Labreuche, F. Laurent, J. Roger-Estrade (Hrsg): Faut-il travalailler le sol. 78026 Versailles Cedex, France. ISBN: 978-2-7592-2193-6.

BLW (2010): Erosion - Risiken beschränken. Merkblätter-Set. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).

Brandhuber R. (2014). Hin zur gewittertauglichen Mulchsaat, mais – Die Fachzeitschrift für Spezialisten, Kommentar aus Ausgabe 2, 2014.

Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ (1984). Classification and Regression Trees. Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software. Monterey, CA. ISBN 978-0-412-04841-8.

Breiman L (2001). Random Forests. Machine Learning 45, 5-32.

Brinke M., Szöcs E., Foit K., Bänsch-Baltruschat B., Liess M., Schäfer R.B., Keller M. (2015): Umsetzung des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pestiziden – Bestandsaufnahme zur Erhebung von Daten zur Belastung von Kleingewässern der Agrarlandschaft, Forschungskennzahl 3714 67 404 1. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 144 p.

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Brunotte J. 2007: Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run-off und Mykotoxinbildung im Getreide, Landbauforschung Völkenrode, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Sonderheft 305.

Busch, J.R., Kincaid, D.C., 1987. Reservoir tillage for controlling runoff and savingenergy. In: Irrigation Energy Efficiency Bulletin for Bonneville Power Administration No. DOE/BP-21295-9 (2 pp.)

BVL (2020): Kodeliste für Kennzeichnungstexte und sonstige Auflagen zugelassener Pflanzenschutzmittel, https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/PSM_Kodeliste.pdf?_blob=publicationFile&v=5 (24.03.2020)

Carsel RF, Imhoff JC, Hummel PR, Cheplick JM, Donigian AS jr., 2003. PRZM-3, A model for predicting pesticide and nitrogen fate in the crop root and unsaturated soil zones: User's Manual for Release 3.12. Center for Exposure Assessment Modeling (CEAM), U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Athens, GA, USA.

Chen, H., Grieneisen, M.L., Zhang, M., 2016a. Predicting pesticide removal efficacy of vegetated filter strips: A meta-regression analysis. Sci. Total Environ. 548, 122–130.

CIPF (2013): Erosiebestrijding in maïs. Internal communication Bayer Crop- Science, cooperation with Centre indépendant de promotion fourragère (Louvain-la-neuve, Belgium) 04.03.2015. Personal communication, not published.

Dachbrodt-Saaydeh S, Sellmann J, Strassemeyer J, Schwarz J, Klocke B, Krengel S, Kehlenbeck H. (2021): Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2017 - Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2017, Berichte aus dem Julius-Kühn-Institut, 210.

Deletic A (2001). Modelling of water and sediment transport over grassed areas. Journal of Hydrology 248, 168-182

Destatis (2017): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei - Bodenbearbeitung, Erosionsschutz, Fruchtwechsel / Agrarstrukturerhebung, Statistisches Bundesamt, Erschienen am 17.08.2017, Artikelnummer: 5411209169004

Dönges, S. (2012): On-site-Maßnahmen zur Minderung von Pflanzenschutzmitteleinträgen in Gewässer durch Runoff. Bachelorarbeit, Gießen.

Elias D, Wang L, Jacinthe P-A (2018) A meta-analysis of pesticide loss in runoff under conventional tillage and no-till management, Environ Monit Assess 190: 79, 1-17.

Erlach F (2005). Strategien zur Minderung diffuser Einträge von herbiziden Wirkstoffen und Nährstoffen in Oberflächengewässer. Dissertation am Institut für Geographie, Universität Paderborn. 255 p.

EU (2017): Bericht der Kommission an das europäische Parlament und den Rat über die Umsetzung der Verpflichtung zur Ausweisung ökologischer Vorrangflächen im Rahmen der Regelung für Ökologisierungszahlungen (grüne Direktzahlungen), SWD (2017) 121 final, Brüssel, 29.3.2017.

Fawcett RS, Christensen DR, Tierney DP, 1994. The impact of conversion tillage on pesticide runoff into surface water: A review and analysis. J. Soil Water Conserv. 1994, 126-135.

Felsot, A. S., Mitchell, J. K., & Kenimer, A. L. (July 1990). Assessment of Management Practices for Reducing Pesticide Runoff from Sloping Cropland in Illinois. Journal of environmental quality, 19\503\51, S. 539-545.

FOCUS (2001). "FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC". Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Docu-ment Reference SANCO/4802/2001-rev.2. 245 pp

FOCUS (2007a)._"Landscape and Mitigation Factors In Aquatic Risk Assessment. Volume 1. Extended Summary and Recommendations". Report of the FOCUS Working Group on Landscape and Mitigation Factors in Ecological Risk Assessment, EC Document Reference SANCO/10422/2005 v2.0. 169 pp.

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

FOCUS (2007b). "Landscape and Mitigation Factors In Aquatic Risk Assessment. Volume 2. Detailed Technical Reviews". Report of the FOCUS Working Group on Landscape and Mitigation Factors in Ecological Risk Asses sment, EC Document Reference SANCO/10422/2005 v2.0. 436 pp.

Garen DC, Moore DS, 2005. Curve Number Hydrology in Water Quality Modeling: Uses, Abuses, and Future Directions. J. American Water Resources Assoc. 04, 377-388.

(ftp://www.wcc.nrcs.usda.gov/downloads/factpub/wsf/Garen and Moore JAWRA 2005.pdf).

Goffart JP, Poulet V, Olivier C (2013) Study of the effects of tied ridges on water runoff and its consequences for potato crop. Potato Agrophysiol 15:55–61

Golla B., Neukampf R., Lodenkemper R. 2020: Anteil von Gewässern mit dauerhaft bewachsenen Gewässerrandstreifen an Oberflächengewässern in Agrarlandschaften, S. 39-43 In: BMEL 2020: Jahresbericht 2020, Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, 126 S.

Hall JK, Hartwig NL, Hoffman LD. Cyanazine losses in runoff from no-tillage corn in "living" and dead mulches vs. unmulched, conventional tillage. J Environ Qual 13, 105-110.

Hansen NC, Moncrief J, Gupta SC, Capel PD, Olness AE, 2001. Herbicide banding and tillage system interactions on runoff losses of alachlor and cyanazine. J Environ Qual 30, 2120-2126.

Hasheminia, S.M., 1994. Controlling runoff under low pressure center pivotirrigation systems. Irrig. Drain. Syst. 8, 25–34.

Keshavarz MS, Ebrahimian H, Abbasi F, Playán E (2020). Effect of micro-dams on water flow characteristics in furrow irrigation. Irrigation Science (2020) 38:307–319

Kincaid, D.C., McCan, I., Busch, J.R., Hasheminia, M., 1990. Low pressure centerpivot irrigation and reservoir tillage. In: Visions of the Future – Proceedings of the Third National Irrigation Symposium, ASAE St. Jospeh, MI, pp. 54–60.

Kistler, M K; Brandhuber, R.; Maier, H. (2013): Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen: Ergebnisse einer Feldstudie; Bericht zum Forschungsvorhaben "Evaluierung der Cross Compliance Bestimmungen zum Erosionsschutz in Bayern", Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL, 114 Seiten

KTBL (2015): Bodenbearbeitung und Bestellung - Definition von Bodenbearbeitungs- und Bestellsystemen, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

Le Bissonais Y, Lecomte V, Cerdan O (2004). Grass strip effects on runoff and soil loss. Agronomie 24 (2004) 129–136

Lecomte V (1999). Transfert de produits phytosanitaires par le ruissellement et l'érosion de la parcelle au bassin versant. Processus, déterminisme et modélisation spatiale. ENGREF Paris. 231 p.

Lemann, T; Sprafke T., Bachmann F., Prasuhn V., Schwilch G (2019): The effect of the Dyker on infiltration, soil erosion, and waterlogging on conventionally farmed potato fields in the Swiss Plateau, Catena 174 (2019) 130–141.

Maetens W, Poesen J, Vanmaercke M, 2012. How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean? Earth-Science Reviews 115, 21–36.

Mamo M, Kranz WL, Douskey ER, Kamble ST, Witkowski JF, 2006. Impact of Tillage and Placement of Terbufos Insecticide Runoff. Applied Engineering Agriculture 22 (4), 555 - 560.

Muñoz-Carpena, R., Parsons, J.E., 2014. VFSMOD-W Vegetative Filter Strips Modelling System. Model documentation & User's Manual. Version 6.x.

http://abe.ufl.edu/carpena/files/pdf/software/vfsmod/VFSMOD_UsersManual_v6.pdf.

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

MWVLW (2019): Merkblattmappe Greening Antragsjahr 2019: Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz.

NAP (2017): Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, Stand 2017. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Deutschland.

Olivier C, Goffart JP, Baets D, Xanthoulis D, Fonder N, Lognay G, Barthélemy JP, Lebrun P (2014) Use of microdams in potato furrows to reduce erosion and runoff and minimise surface water contamination through esticides. Comm Appl Biol Sci 79(2):1–10

Prasuhn, V.; Doppler, T.; Spycher, S.; Stamm, C. (2018): Pflanzenschutzmitteleinträge durch Erosion und Abschwemmung reduzieren, Agrarforschung Schweiz 9 (2), S. 44–51

Reichenberger S, Bach M, Skitschak A, Frede H-G (2007). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. Sci Total Environ. 384, 1-35

Reichenberger S, Sur R, Kley C., Sittig S., Multsch S. (2019): Recalibration and cross-validation of pesticide trapping equations for vegetative filter strips (VFS) using additional experimental data. Science of The Total Environment 647, 534–550.

Reichenberger, S., Sur, R., Kley, C., 2017. Evaluation of pesticide trapping efficiency equations for vegetative filter strips (VFS) using additional experimental data. SETAC Europe Annual Meeting 2017 07–11 May 2017 Bruss. Belg. Poster Present

Sabbagh, G.J., Fox, G.A., Kamanzi, A., Roepke, B., Tang, J.-Z., 2009. Effectiveness of vegetative filter strips in reducing pesticide loading: Quantifying pesticide trapping efficiency. J. Environ. Qual. 38, 762–771.

Schneider, A.D., Howell, T.A., 2000. Surface runoff due to LEPA and spray irrigation f a slowly permeable soil. Trans. ASAE 43 (5), 1089–1095.

Schoop J und Fischler M (2019): Merkblatt Schonende Bodenbearbeitung. Herausgeber: Agridea, Eschikon 28, 8315 Lindau.

Silva LL (2017). Are basin and reservoir tillage effective techniques to reduce runoff under sprinkler irrigation in Mediterranean conditions? Agricultural Water Management 191, 50-56

Silva, L.L., MarquesdaSilva, J.R., Pisco, A.M.V., Torres, C.J.V., 2010. No-till and Basintillage for reducing runoff and sediment yield on centre-pivot irrigated maizein a Mediterranean soil. In: Proceedings of the EurAgeng 2010 ConferenceTowards Environmental Technologies, Clermont-Ferrand, France, p. 10

Sittig S, Baets D, Sur R (2020b). Mitigation of surface runoff from agricultural fieldby micro-dam technology and conservation tillage results from maize field trials. American Chemical Society (ACS) Virtual Fall Meeting, 17-20 August 2020; poster presentation

Sittig S, Sur R, Baets D, Hammel K (2020a). Consideration of risk management practices in regulatory risk assessments: evaluation of field trials with micro-dams to reduce pesticide transport via surface runoff and soil erosion. Environ Sci Eur 32:86, https://doi.org/10.1186/s12302-020-00362-1

Sui Y, Ou Y, Yan B, Xu X, Rousseau AN, Zhang Y (2016). Assessment of Micro-Basin Tillage as a Soil and Water Conservation Practice in the Black Soil Region of Northeast China. PLoS ONE 11 (3): e0152313. doi:10.1371/journal.pone.0152313

Therneau TM, Atkinson EJ, Ripley B (2019). rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees. https://cran.r-project.org/package=rpart

TOPPS-Prowadis (2014): Gute fachliche Praxis zur Verringerung der Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln durch Runoff und Erosion, Bauer, F.; Dyson, J.; Le Henaff, G.; Laabs, V.; Lembrich, D.; Maillet-Mezaray, J.; Réal, B.; Roettele, M., 45 S.

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

TOPPS-Prowadis (2014a), Mitigation Measured for Runoff. TOPPS - Training Course

TOPPS-Prowadis (2014b): TOPPS-Prowadis: Best Management Practices to reduce water pollution with plant protection products from runoff and erosion. Field manual.

Truman CC, Nuti RC (2010). Furrow diking in conservation tillage. Agricultural Water Management 97 (2010) 835–840

UCL (2012): Lutte contre le ruissselement et l'érosion en culture de maïs sur terres en pente. Cooperation of UCL, LSM, CIPF, SPW and DGO3. Personal communication, not published

Umweltbundesamt (2017): Exposit 3.02: Abschätzung des Eintrages von PSM-Wirkstoffen in Oberflächengewässer über den Pfad Run-off und Drainage. In:

https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/03_Antragsteller/04_Zulassungsverfahren/08_Naturhaushalt/psm_naturhaush_node.html

USDA-NRCS, 2004. National Engineering Handbook, Part 630, Hydrology. Chapter 10, Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. 79 p.

(http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17752.wba; 23.10.2014).

USDA-SCS (1972). SCS National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. Chapter 10, Estimation of direct runoff from storm rainfall. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington D.C., p. 10.0-10.24.

Vrugt, J.A., 2016. Markov chain Monte Carlo simulation using the DREAM software package: Theory, concepts, and MATLAB implementation. Environ. Model. Softw. 75, 273–316.

A Anhang: Detailergebnisse zu der Recherche

A.1 Übersicht RMM - Maßnahmen

Tabelle 19: Übersicht über die untersuchten risikomindernden Maßnahmen mit Angabe, ob qualitative oder quantitative vertiefte Untersuchung vorgenommen wurde

Maßnahmentyp	Wirkort	Titel der Maßnahme	Beschreibungung der Eckpunkte der Maßnahme	Quelle	Quali- tative Beschrei- bung	Quantitative Auswertung wünschens- wert
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Direktsaat, keine Bodenbearbeitung	Verzicht auf jede Form von Bodenbearbeitung, d.h. Eingriff in den Boden (mit Ausnahme Saatschlitze); häufig auch als Direktsaat bezeichnet (Bach 2016). Die Saatgutablage erfolgt in einem Arbeitsgang, direkt in den unbearbeiteten, vorteilhafterweise mit Pflanzen(-resten) bedeckten Boden. Dabei werden höchstens 25 % der Bodenoberfläche bewegt. (Agridea 2019)	[1] [4]	Ja	Ja
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Streifensaat (strip till)	Streifenförmiges, höchstens 20cm tiefes Bearbeiten des vorteilhafterweise mit Pflanzen(-resten) bedeckten Bodens. Dabei werden höchstens 50 % der Bodenoberfläche bearbeitet. Höchstens zwei Arbeitsgänge, der gewachsene Boden wird befahren.	[1]	Ja	Nein
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Nichtwendende Bodenbearbeitung	Bodenbearbeitung von mehr als 50 % der Bodenoberfläche, aber mit reduzierter Bearbeitungstiefe im Vergleich zu herkömmlicher, wendender Bodenbearbeitung und gleichzeitig erhöhter Bodenbedeckung durch Pflanzenreste	[1] [2] [11] [12]	Ja	Ja
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Konturbearbeitung	Richtung der Bodenbearbeitung folgt den Höhenlinien (unabhängig von der Art der Bodenbearbeitung, d.h. kombinierbar mit z.B. reduced tillage)	[4] [11] [12]	Ja	Nein

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Maßnahmentyp	Wirkort	Titel der Maßnahme	Beschreibungung der Eckpunkte der Maßnahme	Quelle	Quali- tative Beschrei- bung	Quantitative Auswertung wünschens- wert
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Planung und Ausrichtung von Fahrgassen	Fahrgassen quer zum Hang verlaufend, jedes Jahr die Fahrgassen leicht versetzen, tiefer Reifendruck. Zusätzlich Lockerung der Fahrspuren oder Bewuchs.	[7] [11] [12]	Ja	Nein
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Anlage von Querdämmen in Dammkulturen	Dammkulturen (Kartoffeln) in regelmässigen Abständen mit Querdämmen versehen, die den Wasserfluss aufhalten und dadurch daß Wasser auf der Parzelle behalten.	[7] [11] [12]	Ja	Ja, für Kartoffeln
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Kein Pflügen oder Ernten wenn der Boden zu feucht ist	Kein Pflügen oder Ernten wenn der Boden zu feucht ist um Bodenverdichtung zu vermeiden	[7] [11]	Nein	Nein
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Tiefwurzelnde Zwischenkultur	Um Bodenverdichtung entgegen zu wirken	[11]	Ja	Nein
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Tiefe Bodenlockerung	Tiefe Bodenlockerung, um Pflugsohlenverdichtungen aufzusprengen. Das Verfahren wird nicht jährlich durchgeführt und beschränkt sich auf Bereiche der Parzelle, die am Stärksten verdichtet sind.	[5] [11]	Nein	Nein
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Oberflächenkruste mechanisch brechen	Verkrustung des Bodens mit Hackgerät aufbrechen (i.d.R. in Wuchsstadium, in dem Kultur noch tiefe Bodenbedeckung hat)	[11]	Nein	Nein
Bodenbearbeitung (soil management)	on-site	Kalkdüngung	Zuführung von Kalk, um die biologische Aktivität zu begünstigen und die strukturelle Stabilität des Bodens zu verbessern.	[5]	Nein	Nein
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	on-site	Zwischenfrucht (Cover crops)	Zwischenfrucht zur Bodenbedeckung nach der Ernte der Hauptfrucht bis zur Einsaat der folgenden Hauptfrucht. Verbesserte Bodenstruktur führt zu weniger Runoff in folgender Hauptkultur	[4]	Ja	Nein
Boden- und Vegetationsbedeckung	on-site	Mulchsaat (Mulch Tillage)	Aufbringen, Anreicherung oder Belassen von organischem Material (i.d.R. Erntereste) auf der Bodenoberfläche (Bach 2016). Einige Autoren nennen Mindestanteile der Bodenbedeckung für eine	[2] [4] [3]	Ja	Ja

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Maßnahmentyp	Wirkort	Titel der Maßnahme	Beschreibungung der Eckpunkte der Maßnahme	Quelle	Quali- tative Beschrei- bung	Quantitative Auswertung wünschens- wert
(crop and vegetations management)			Mulchsaat (> 30 %). Bezüglich Intensität der Bodenbearbeitung gibt es keine Anforderungen (einzig den Verzicht auf den Pflug)			
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	on-site	Streifenanbau (Strip cropping)	Anbau von Feldfrüchten abwechselnd in Streifen quer zum Hang (i.d.R. eine erosionsanfälligere im Wechsel mit einer weniger erosionsanfälligen Pflanzenart)	[4]	Ja	Nein
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	on-site	Filterstreifen (in field) (Buffer strips)	Temporäre oder dauerhafte Anlage von grasbewachsenen Vegetationsstreifen (üblicherweise Gras) quer zum Hang innerhalb einer Ackerfläche	[4]	Ja	Ja
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	edge of field	Filterstreifen (edge of field) (Buffer strips)	Temporäre oder dauerhafte Anlage von grasbewachsenen Vegetationsstreifen (üblicherweise Gras) quer zum Hang unterhalb einer Ackerfläche	[4] [6] [7]	Ja	Ja
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	on-site	Untersaaten	Einsäen einer zusätzlichen Kultur zusätzlich zur Hauptkultur. Saat erfolgt zusammen oder nach Auflauf Hauptkultur	[4]	Ja	Nein
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	edge of field/ off- site	Bäume und Hecken	Reihen von Bäumen und Büschen anlegen, die auf beiden Seiten einen Krautsaum von mindestens 3 Metern haben (BLW)	[5] [11]	Nein	Nein
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	on-site	Hecken im Feld anlegen		[9]	Nein	Nein

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Maßnahmentyp	Wirkort	Titel der Maßnahme	Beschreibungung der Eckpunkte der Maßnahme	Quelle	Quali- tative Beschrei- bung	Quantitative Auswertung wünschens- wert
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	off-site	Verbreiterung des Vorgewendes	Verbreiterung des Vorgewendes. Zusätzliche Begrünung verstärkt Wirkung der Maßnahme	[9]	Nein	Nein
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	on-site	Doppelte Saatdichte bei Getreide in Talböden	Doppelte Saatdichte als Streifen im Talboden. Der Streifen übernimmt die gleiche Funktion wie ein in-field Filterstreifen, aber ist nach wie vor produktiv.	[11]	Nein	Nein
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	on-site	Umnutzung in Dauergrünland	Bei Flächen mit grösserem Gefälle kann durch Dauergrünland die Erosion eingeschränkt werden, da der Boden nicht mehr bearbeitet wird.	[5]	Nein	Nein
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	on-site	Anbau verschiedener Kulturen auf einer Parzelle, Mischkulturenanbau	Den Boden und seine Struktur bestmöglich bewirtschaften, wobei ein differenziertes Wurzelgefüge dafür sorgt, daß die Nährstoffe nicht durch abfliessendes Wasser verloren gehen.	[5]	Nein	Nein
Boden- und Vegetationsbedeckung (crop and vegetations management)	on-site	Erntegassen begrünen (Gemüse)		[9]	Nein	Nein
Landschaftsgestaltung	on-site	Talwegpuffer (grassed waterways)	Anlage von dauerhaft bewachsenen Grasstreifen entlang der Fliesswege von konzentriertem Oberflächenabfluss, innerhalb von Ackerflächen	[4]	Ja	Nein
Landschaftsgestaltung	off-site	Talwegpuffer (grassed waterways)	Anlage von dauerhaft bewachsenen Grasstreifen entlang der Fliesswege von konzentriertem Oberflächenabfluss, unterhalb von Ackerflächen	[4]	Ja	Nein

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Maßnahmentyp	Wirkort	Titel der Maßnahme	Beschreibungung der Eckpunkte der Maßnahme	Quelle	Quali- tative Beschrei- bung	Quantitative Auswertung wünschens- wert
Landschaftsgestaltung	off-site	Uferstreifen (Riparian buffer strips)	Anlage von dauerhaft grasbewachsenen Vegetationsstreifen im Uferbereich von Oberflächengewässern (Bach 2016) Ziel von NAP: 2018 80 %, per 2023 100 % der Oberflächengewässer in sensiblen Gebieten haben einen dauerhaft grasbewachsenen Gewässerrandstreifen von mind. 5m Breite (NAP).	[4] [8]	Ja	Ja
Landschaftsgestaltung	on-site	Terrassierung	Anlage von hangparallelen (höhenlinienparallelen) Terrassen	[4]	Nein	Nein
Landschaftsgestaltung	-	Grösse, Form und Ausrichtung der Parzellen	Berücksichtigung der Topographie des Gelädes (Hänge, Landschaftselemente usw.) bei der Planung von Grösse, Form und Ausrichtung (bezogen auf die Bearbeitung mit Maschinen) der Parzelle. Diese Eigenschaften beeinflussen die Ansammlung und Geschwindigkeit von abfliessendem Wasser bei Niederschlägen.	[5]	Nein	Nein
Landschaftsgestaltung	off-site	Landumlegungen	Unter Landumlegungen sind alle baulichen und bodenrechtlichen Maßnahmen sowie alle ökologischen Maßnahmen zu verstehen, die zu einer allgemeinen Verbesserung des Einzugsgebiets beitragen. Diese Verbesserungen müssen den Interessen der Landwirtschaft, der Raumplanung sowie des Umweltschutzes Rechnung tragen.	[5]	Nein	Nein
Landschaftsgestaltung	off-site	Kleine Dämme	Feste aufeinanderfolgende Vorrichtungen aus Pflanzen oder aus widerstandsfähigem Material entlang des Talwegs.	[5]	Nein	Nein
Landschaftsgestaltung	on-site	Ableitung des Wassers	Verschiedene Vorrichtungen zum Sammeln oder Ableiten von Wasser, damit sind auch Drainagen gemeint	[5] [6] [10]	Nein	Nein
Landschaftsgestaltung	off-site	Künstliche Retentionsweiher	Beinhaltet auch Pflanzenkläranlagen oder Feuchtgebiete (da nicht weiterverfolgt, auch nicht weiter differenziet).	[11]	Nein	Nein
Landschaftsgestaltung	edge of field	Erdwälle am Parzellenrand (edge-of-field bunds)	Erdwälle am Feldrand, die den Wasserfluss aufhalten und dadurch daß Wasser auf der Parzelle behalten.	[7] [11]	Nein	Nein

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Maßnahmentyp	Wirkort	Titel der Maßnahme	Beschreibungung der Eckpunkte der Maßnahme	Quelle	Quali- tative Beschrei- bung	Quantitative Auswertung wünschens- wert
Weitere	on-site	Applikationszeitpunkt optimieren	Nur während erlaubtem Zeitpunkt applizieren, nicht anwenden falls Regenereignisse innerhalb der nächsten zwei Tage vorausgesagt werden.	[12]	Nein	Nein
Weitere	on-site	Saisonale Einschränkung der PSM-Applikation		[12]	Nein	Nein
Weitere	on-site	Applikationsrate anpassen		[12]	Nein	Nein
Weitere	on-site	Bewässerungstechnik anpassen		[12]	Nein	Nein
Weitere	on-site	Bewässerungszeitpunkt und -rate optimieren		[12]	Nein	Nein
Weitere	on-site	Anwendungsverbot auf Flächen mit hoher Anfälligkeit für Oberflächenabfluss und Erosion ("Restriction from application to vulnerable situations")	Anwendungsverbot auf Flächen mit hoher Anfälligkeit für Obenflächenabfluss und Erosion	[6]	Nein	Nein
Weitere	on-site	Änderung der Applikationsmethode (z.B. Einarbeitung)	Ziel: Reduktion der PSM-Rückstände an der Bodenoberfläche	[6]	Nein	Nein
Weitere	on-site	Formulierung des Pflanzenschutzmittels anpassen		[6] [10]	Nein	Nein

^[1] Agridea: Schoop J und Fischler M (2019): Merkblatt Schonende Bodenbearbeitung. Herausgeber: Agridea, Eschikon 28, 8315 Lindau.

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

- [2] AID (2015): AID (2015): Gute Fachliche Praxis Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz, aid infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e.V. (AID).
- [3] Alletto: Alletto L., Coquet Y., Benoit P., Heddadj D., Barriuso E., (2010): Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. Agron. Sustain. Dev. 30 (2010) 367-400.
- [4] Bach M, Guerniche D, Thomas K, Trapp M, Kubiak R, Hommen U, Klein M, Reichenberger S, Pires J, Preuß T (2016): Bewertung des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer Runoff, Erosion und Drainage, GERDA GEobased Runoff, erosion and Drainage risk Assessment for Germany, 8 Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- [5] BLW: BLW (2010): Erosion Risiken beschränken. Merkblätter-Set.
- FOCUS (2007). "Landscape And Mitigation Factors In Aquatic Risk Assessment. Volume 1. Extended Summary and Recommendations". Report of the FOCUS Working Group on Landscape and Mitigation Factors in Ecological Risk Assessment, EC Document Reference SANCO/10422/2005 v2.0. 169 pp. und FOCUS (2007). "Landscape And Mitigation Factors In Aquatic Risk Assessment. Volume 2. Detailed Technical Reviews". Report of the FOCUS Working Group on Landscape and Mitigation Factors in Ecological Risk Assessment, EC Document Reference SANCO/10422/2005 v2.0. 436 pp.
- [7] MagPIE: Alix, A. et al. (ed.) (2017): MagPIE. Mitigating the Risks of Plant Production Products in the Environment. From the two-part SETAC Workshop Mitigating the Risk of Plant Production Products in the Environment. 22–24 April 2013 Rome, Italy, 13–15 November 2013 Madrid, Spain. SETAC, ISBN: 978-1-880611-99-9
- [8] NAP: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, Stand 2017. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Deutschland.
- [9] Prasuhn: Prasuhn V., Doppler T., Spycher S und Stamm C (2018): Pflanzenschutzmitteleinträge durch Erosion und Abschwemmung reduzieren. Agrarforschung Schweiz 9 (2): 44-51, 2018.
- [10] Reichenberger, S.; Bach, M.; Skitschak, A.; Frede, H.G. (2007). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. Sci Total Environ. 384, 1-35
- TOPPS: TOPPS-Prowadis (2014): Gute fachliche Praxis zur Verringerung der Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln durch Runoff und Erosion, Bauer, F.; Dyson, J.; Le Henaff, G.; Laabs, V.; Lembrich, D.; Maillet-Mezaray, J.; Réal, B.; Roettele, M., 45 S.
- [12] TOPPS-BMP: TOPPS-Prowadis (2014b): TOPPS-Prowadis: Best Management Practices to reduce water pollution with plant protection products from runoff and erosion. Field manual.

A.2 Protokolle der Experteninterviews

A.2.1 Experte Schadstoffdynamik

Dr. Martin Bach
Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement
Universität Giessen
Heinrich-Buff-Ring 26
DE - 35392 Gießen

Allgemeine Fragen

Die heute deutlich besser durchführbaren Messungen in Oberflächengewässern zeigen, dass PSM-Wirkstoffe häufig in Konzentrationen oberhalb der für die Zulassung als akzeptabel eingestuften Konzentrationen auftreten. Die Wirksamkeit von Risikominderungsmaßnahmen zur Reduktion von Einträgen durch Runoff und Erosion ist daher besser abzustützen.

- a) Wie schätzen Sie das Runoff-Risiko ganz allgemein ein?
 - Bei Herbiziden sind Runoff und Erosion der relevanteste Eintragspfad. Bei den bei höherer Bodenbedeckung erfolgenden Applikationen, also den meisten Fungizid- und Insektizidbehandlungen, dürfte der Anteil an den gesamten Einträgen geringer sein.
- b) Was sind die größten Herausforderungen bei der Umsetzung risikomindernder Maßnahmen?
 - Das ist eine sehr allgemeine Frage. Es hängt unter anderem davon ab, ob damit die 16 in der mitgeschickten Tabelle genannten Maßnahmen gemeint sind oder nur eine Auswahl von besonders geeigneten.
- c) Wann werden die risikomindernden Maßnahmen erfolgreich und wirksam umgesetzt? (was sind die Erfolgsfaktoren?)
 - Der wichtigste Erfolgsfaktor ist, dass die Maßnahmen wirtschaftlich neutral sind. Dies kann auch durch Direktzahlungen erreicht werden. Ein weiterer relevanter Faktor ist, dass das Management Know-how nicht überfordert werden sollte.
- d) Die zu Runoff führenden Prozesse sind komplex, was die Festlegung gut abgestützter Werte der für die Zulassung verwendeten Reduktionseffizienz erschwert. Gewisse Länder wie die Schweiz verwenden deshalb für die Zulassung Punktesysteme für risikomindernde Maßnahmen (je nach Risiko für Gewässerorganismen dürfen gewisse Mittel dann nur mit ausreichender Punktzahl verwendet werden). Ist das ein zielführender Weg, trotz hoher Unsicherheiten ein solches System einzuführen?

Das ist ein grundsätzlich prüfenswerter Ansatz, wobei allerdings ein Beleg der Wirksamkeit Voraussetzung dafür wäre. Die konkrete Ausgestaltung des Punktesystems müsste auf seine Eignung für die deutschen Verhältnisse überprüft werden.

Spezifische Fragen

e) Die heutigen Auflagen NW706 und NG 404 sehen vor, dass der Anbau mit Mulch- oder Direktsaatverfahren die Pflanzenschutzmittelverluste gleich stark reduziert wie ein 20m breiter Randstreifen Aus Beregnungsversuchen ist bekannt, dass die Effektivität

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

schonender Bodenbearbeitung von mehreren Faktoren beeinflusst wird (Bodentyp, Bearbeitungsintensität, Bodenbedeckung, etc.) und unter ungünstigen Bedingungen zu keinerlei Reduktion der Pflanzenschutzmitteleinträge führt. Ist es denkbar zu definieren, unter welchen Bedingungen die Maßnahme "Anbau im Mulch- oder Direktsaatverfahren" effektiv ist und so deren Reduktionsleistung sicherzustellen?

1. Sehen Sie das auch so?

Grundsätzlich sind Mulchsaat und Direktsaat an den Ursachen ansetzende Maßnahmen, die im günstigen Fall wirksamer sind als ein Randstreifen, weil es gar nicht zu fließendem Wasser auf der behandelten Fläche kommt. Ein Uferstreifen ist wirksam bei geringen Runoff-Mengen, reduziert den Runoff eines 300 m langen Hanges (um einen Wert zu nennen) hingegen fast gar nicht. Es sollte eine genügend hohe Infiltration erreicht werden, d.h., für eine Reduktion der Verluste um beispielsweise 90 % müsste gewährleistet sein, dass in neun von zehn Jahren kein Runoff-Ereignis mit relevanten Einträgen stattfindet.

Im Idealfall sollte der Landwirt aufzeigen, dass er eine genügend hohe Infiltration erreicht. Dabei ist er frei zu bestimmen, wie er dies erreicht – dies, da die Infiltration abhängig ist vom Bodentyp, Hangneigung, lokalen Niederschlagsverhältnisse und durch die Bodenbearbeitung beeinflusst werden kann. In der Praxis sehe ich allerdings große Probleme, so etwas zu überprüfen.

2. Wäre eine Eingrenzung auf bestimmte Bodentypen zielführend (z.B. wegen der erhöhten Wirksamkeit der Maßnahme auf zur Verschlämmung neigenden Böden)?

k.A.

3. Wäre ein Eingrenzung der Bearbeitungsintensität zielführend (z.B. durch eine Beschränkung der Anzahl Arbeitsgänge oder durch den ausschließlichen Einsatz gezogener an Stelle von zapfwellengetriebenen Geräten)?

k.A.

4. Neben Bodentyp und Bearbeitungsintensität spielt die Bodenbedeckung durch Mulch zum Zeitpunkt des Runoffereignisses eine wichtige Rolle. Wäre eine Vorgabe hier denkbar? Ein häufiger in der Literatur zur schonenden Bodenbearbeitung genannter und in einigen Bundesländern verwendeter Wert sind 30 % Bodenbedeckung. Wäre eine Eingrenzung anhand dieses Werts ausreichend abgestützt?

k.A.

5. Wäre eine Kombination aus a)-c) zielführend?

Ein Raster, in dem eine Reduktionsleistung abhängig von Bodentyp, Hangneigung, Bearbeitungsintensität und Bodenbedeckung definiert wird, wäre erstrebenswert, aber braucht eine gute Datengrundlage und Expertise von Bodenphysikern.

Wichtig ist der generelle Verzicht auf Pflug, denn die Bodenporen müssen durchgehend sein. Wenn man ins Detail der reduzierten Bodenbearbeitung geht (welche Art von Grubbern, welche Bodentiefe, etc.), wird es aber komplizierter.

- f) Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Kontrollierbarkeit von Maßnahmen. Können Sie sich technologische Entwicklungen vorstellen, mit denen die Anwendung von Maßnahmen einfach überprüfbar werden?
- 1. Wäre z.B. die Bestimmung einer ausreichenden Bodenbedeckung mittels Smartphone-App (wie Canopeo) oder über Fernerkundung denkbar?

Apps könnten sehr hilfreich sein. Dass derzeitige Apps noch Mühe haben, nichtgrüne Pflanzenreste zu identifizieren, sollte sich lösen lassen.

2. Böden mit erhöhtem Infiltrationskapazität neigen weniger zu ungesättigtem Oberflächenabfluss (Hortonscher Runoff). Wären einfache Feldtests zur Bestimmung der Infiltrationsvermögens als Voraussetzung für die Anwendung von Produkten mit erhöhten Risiken für Gewässerorganismen denkbar?

Die mit Doppelring-Infiltrometern bestimmte Werte sind für diesen Zweck aus meiner Sicht nicht geeignet, da die Ergebnisse stark streuen und diese Infiltrometer starke Randeffekte zeigen. Spatentests sind grundsätzlich sinnvoll, aber rein qualitativer Natur und nicht als Kontrollinstrument geeignet. Die Fernerkundung dürfte hingegen zielführend sein, insb. zum Beispiel ob Erosionsspuren (Fließstrukturen auf der Bodenoberfläche) ersichtlich sind.

Ausblick

g) Gibt es mittel- und langfristige Entwicklungen im Pflanzenbau, die (u.U. mit Anpassungen) auch zur Reduktion von PSM-Einträgen über Runoff und Erosion genutzt werden könnten, z.B. Klimaschutz-Maßnahmen zur Erhöhung des C-Gehalts in Böden oder verstärkter Anbau mit Untersaaten oder Intercropping (Mischkulturen) im Ackerbau?

Die ersten Auswertzungen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft legen die Vermutung nahe, dass die C-Gehalte tendenziell abgenommen haben, mit dem einsetzenden Klimawandel dürfte sich dieser Trend noch verstärken. Ein Treiber dieser Entwicklung ist auch die EEG-Förderung des Anbaus von Energiepflanzen für die Biogaserzeugung, welche die Vielseitigkeit der Fruchtfolgen beeinträchtigt. Ein Klimaschutzprogramm mit dem Ziel, C-Gehalte in Ackerböden zu fördern, ist meines Wissens nicht in Sicht.

Das Precision Farming entwickelt sich derzeit sehr rasch. Hier könnte es Synergien mit dem Boden- und Gewässerschutz geben, die gezielter genutzt werden sollten.

Untersaaten und Mischkulturen spielen in der biologischen Landwirtschaft eine Rolle, aber es ist unklar, ob sie in der konventionellen Landwirtschaft eine Rolle spielen werden. Die Gentechnik könnte Beiträge liefern.

Auch die im Rahmen des NAP angestrebte verstärkte Anwendung wirtschaftlicher Schadschwellen kann dazu beitragen, die Behandlungsintensität zu senken und als Folge davon auch die Einträge in Gewässer.

h) Wo sehen Sie den größten Handlungsbedarf zu Steigerung der Effizienz von Risikominderungsmaßnahmen? Von welchem bisher zu wenig untersuchten Thema würden sie den größten Beitrag zum Erreichen des Ziels erwarten?

Es gibt zwar zahlreiche Feldversuche zur Wirksamkeit von Uferstreifen, aber eine fundierte Studie zur Relevanz des konzentrierten Abflusses wäre wertvoll. Das derzeit für die Zulassung diskutierte higher tier-Modell VFSMOD kann diesen Effekt zwar berücksichtigen, in der nach meinem Wissen üblicherweise gewählten Parametrisierung wird aber keine oder nur eine geringen Konzentration des Oberflächenabflusses eingestellt. Die derzeit verwendeten Annahmen bezüglich der Reduktionsleistung von Uferstreifen sind nur bei kleinen Runoff-Ereignissen gewährleistet. Die hohe Belastung stammt jedoch von den Starkniederschlagsereignissen, wenn PSM konzentriert abgeschwemmt werden.

Auf Seite der Wirkung von PSM sollte man ökotoxikologische Ansätze (insb. TKTD-Modelle) einführen, um besser abschätzen zu können, welche Expositionen die Gewässer "ertragen" können, ohne dass für die aquatischen Biozönosen dauerhafte Schäden zu verzeichnen sind.

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber

Pflanzenschutzmitteln

Dann kann daraus rückgeschlossen werden, wieviel Runoff-Eintrag eines Wirkstoffs akzeptiert werden kann und wie dann sichergestellt werden kann, dass diese Menge nicht überschritten wird.

Der Zugang zu Daten zum Einsatz von PSM sowie zu den Ergebnissen des jetzt etablierten Kleingewässermonitorings muss zwischen den Behörden und für die Wissenschaft gewährleistet sein. Die Daten zum Einsatz von PSM sollten räumlich ausreichend hoch aufgelöst sein. Moderne Traktoren bzw. Applikationsgeräte erfassen diese ja bereits heute parzellenscharf.

Letztlich sollte es meines Erachtens in Richtung einer regionalisierten Zulassung gehen. Das heißt, dass die Zulassung und Auflagen standortdifferenziert werden sollten. So könnten die Auflagen auf die in hohem Maße beitragenden Flächen im Sinne eines Hot-Spot-Managements gerichtet werden. Das zuweilen angeführte Problem der Wettbewerbsverzerrung, also die Tatsache, dass nicht alle Landwirte dann die gleichen PSM einsetzen dürften, ist wenig stichhaltig. Bereits heute gibt es eine große naturräumliche Heterogenität der Produktionsverhältnisse und als Folge davon auch unterschiedliche Wettbewerbsverhältnisse (unterschiedliche Böden, Wetterbedingungen, etc.).

A.2.2 Experte Erosionsschutz, Runoffverminderung und landwirtschaftliche Beratung

Dr. Richard Beisecker,
Dipl-Ing. agr., Dr. agr
Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft GmbH
Windhäuser Weg 8
34123 Kassel
Allgemeine Fragen

Die heute deutlich besser durchführbaren Messungen in Oberflächengewässern zeigen, dass PSM-Wirkstoffe häufig in Konzentrationen oberhalb der für die Zulassung als akzeptabel eingestuften Konzentrationen auftreten. Die Wirksamkeit von Risikominderungsmaßnahmen zur Reduktion von Einträgen durch Runoff und Erosion ist daher besser abzustützen.

a) Wie schätzen Sie das Runoff und Erosions-Risiko ganz allgemein ein?

Die Unterscheidung zwischen Runoff (Oberflächenabfluss) und Erosion (Bodenabtrag) ist wichtig. Erosion lässt sich durch ausreichende Bodendeckung weitgehend vermeiden, während die Verminderung von Runoff viel schwieriger ist.

Der Runoff ist stark abhängig vom Niederschlagsereignis, z.B. ob es sich um advektiven (Dauerniederschlag) oder konvektiven (Schauer) Niederschlag handelt, dessen Intensität, die Anfangswassergehalte im Boden, usw. Wenn der Niederschlag genügend intensiv ist, erreicht jeder Boden irgendwann die Sättigung und Wasser fängt an oberflächlich abzufließen.

Die Cross-Compliance-Einstufungen in erosionsgefährdete Flächen (CC1 und CC2) berücksichtigen mehrere Aspekte der allgemeinen Bodenabtragsgleich (ABAG) nicht ausreichend. Die CC-Einstufungen sind daher nicht für die Abstützung von Anwendungsbestimmungen geeignet.

b) Was sind die größten Herausforderungen bei der Umsetzung risikomindernder Maßnahmen?

Die Landwirte haben ein Interesse, dass möglichst wenig Boden abgeschwemmt wird. Aber aufgrund von arbeitswirtschaftlichen und ökonomischen Zwängen handeln sie manchmal nicht danach, so dass das kurzfristige Denken die langfristige Perspektive überwiegt. Dem kann insbesondere durch Förderanreize entgegengewirkt werden, während ordnungsrechtliche Vorgaben (Gesetze) alleine nicht ausreichen.

c) Wann werden die risikomindernden Maßnahmen erfolgreich und wirksam umgesetzt? (was sind die Erfolgsfaktoren?)

Es muss ein Eigeninteresse vorhanden sein. Wie oben erwähnt, können aber Handlungszwänge dem Eigeninteresse entgegenwirken.

Letztlich braucht es ein standortangepasstes Bodenbearbeitungssystem. Die Betrachtung einzelner Maßnahmen sind wenig sinnvoll, es müssen alle Aspekte gleichzeitig mitberücksichtigt werden. So haben persönliche Beobachtungen gezeigt, dass in letzter Zeit vermehrt Probleme mit Herbizidresistenzen auftreten, was zu vermehrtem Pflugeinsatz geführt hat. Aus Sicht des Bodenschutzes ist dies keine positive Entwicklung.

d) Die zu Runoff führenden Prozesse sind komplex, was die Festlegung gut abgestützter Werte der für die Zulassung verwendeten Reduktionseffizienz erschwert. Gewisse Länder wie die

Schweiz verwenden deshalb für die Zulassung Punktesysteme für risikomindernde Maßnahmen (je nach Risiko für Gewässerorganismen dürfen gewisse Mittel dann nur mit ausreichender Punktzahl verwendet werden).

▶ Ist das ein zielführender Weg, trotz hoher Unsicherheiten ein solches System einzuführen?

Die Idee ist gut, da der Landwirt selbst schauen kann, was an seinem Standort am besten passt. Mir gefällt insbesondere, dass auf die Kombination von Maßnahmen gesetzt wird und dass dieses flexibel und standortangepasst zusammengestellt werden können.

Könnte die Wahlmöglichkeiten in so einem System zu erhöhter Akzeptanz führen?

Ja, die Akzeptanz könnte höher sein, weil dem Landwirt Handlungsspielräume gegeben werden. Aber es muss zwingend mit einer qualifizierten Beratung kombiniert werden.

Spezifische Fragen

- e) Die heutigen Auflagen NW706 und NG 404 sehen vor, dass der Anbau mit Mulch- oder Direktsaatverfahren die Pflanzenschutzmittelverluste gleich stark reduziert wie ein 20m breiter Randstreifen. Aus Beregnungsversuchen ist bekannt, dass die Effektivität konservierender Bodenbearbeitung von mehreren Faktoren beeinflusst wird (Bodentyp, Bearbeitungsintensität, Bodenbedeckung, etc.) und unter ungünstigen Bedingungen zu keinerlei Reduktion der Pflanzenschutzmitteleinträge führt.
- 1. Ist es denkbar zu definieren, unter welchen Bedingungen die Maßnahme "Anbau im Mulchoder Direktsaatverfahren" effektiv ist und so deren Reduktionsleistung sicherzustellen?

Mit einer ausreichend hohen Bodenbedeckung von mind. 25-30 % lässt sich Erosion weitgehend verhindern, der Runoff aber noch nicht.

Für eine effektive Reduktion des Runoffs bei der Mulchsaat sollte man den Bodenbedeckungsgrad festlegen sowie definieren, dass keine Saatbettbereitung vor der Sommerung durchgeführt werden darf, resp. ohne intensive Einarbeitung vor der Zwischenfrucht, denn dann ist die Bodenbedeckung nicht mehr gegeben (Anmerkung der Autoren: Mit Sommerung werden Nutzpflanzen bezeichnet, die auf dem Feld im Frühling gesät oder gepflanzt und im Herbst des gleichen Jahres geerntet werden also Kulturen wie Mais, Rüben, Kartoffeln oder Sommergetreide).

Eine weitere Herausforderung ist, dass nur am Gewässerrand ansetzende Maßnahmen zu kurz greifen, denn der Abfluss entsteht am Oberhang und der konzentrierte Abfluss wird dann durch den Randstreifen nicht mehr ausreichend zurückgehalten. Aus diesem Grunde sollte immer das ganze Einzugsgebiet betrachtet werden, und die Anwendungsbestimmungen sollten auch auf weiter oben gelegene Parzellen anwendbar sein.

Der Oberflächenabfluss muss daher dort verhindert werden, wo er entsteht. Das gilt auch für Erosion. Und hier greifen die Maßnahmen, die zum Teil in der zur Bewertung voregelegten Auswahl aufgeführt sind (z.B. Konturbearbeitung). Und genau diese Maßnahmen sollten auf allen Parzellen durchgeführt werden, nicht nur bei gewässernahen Parzellen. Weitere Möglichkeiten, um Oberflächenabfluss zu vermindern sind Runons (z.B. Grasstreifen, etc.). Generell empfiehlt sich eine bessere Abstimmung mit dem Hochwasserschutz.

2. Wäre eine Eingrenzung auf bestimmte Bodentypen zielführend (z.B. wegen der erhöhten Wirksamkeit der Maßnahme auf zur Verschlämmung neigenden Böden)?

Der Bodentyp ein wichtiger Faktor und es ist gut bekannt, welche Böden verschlämmungsanfällig sind (Lössböden und Feinsandböden). Von dem her ja. Noch wichtiger ist die Verdichtung, denn ein verdichteter Boden kann nicht viel Wasser aufnehmen, und dies betrifft grundsätzlich alle Bodentypen.

3. Wäre ein Eingrenzung der Bearbeitungsintensität zielführend (z.B. durch eine Beschränkung der Anzahl Arbeitsgänge oder durch den ausschließlichen Einsatz gezogener an Stelle von zapfwellengetriebenen Geräten)?

Da würde man eher im Bereich der Feinjustierung diskutieren, die oben genannten Faktoren sind viel relevanter. Außerdem wird durch eine klare Definition der Bodenbedeckung bereits die Bearbeitungsintensität (d.h. Anzahl Arbeitsgänge) vorgegeben, denn eine hohe Bodendeckung ist nur möglich, wenn die Bearbeitungsintensität tief ist.

4. Neben Bodentyp und Bearbeitungsintensität spielt die Bodenbedeckung durch Mulch zum Zeitpunkt des Runoff-ereignisses eine wichtige Rolle. Wäre eine Vorgabe hier denkbar? Ein häufiger in der Literatur zur konservierenden Bodenbearbeitung genannter und in einigen Bundesländern verwendeter Wert sind 30 % Bodenbedeckung. Wäre eine Eingrenzung anhand dieses Werts ausreichend abgestützt?

Siehe Antworten zu a)

5. Wäre eine Kombination aus b)-d) zielführend?

Siehe Antworten zu a) bis c)

- f) Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Kontrollierbarkeit von Maßnahmen. Können Sie sich technologische Entwicklungen vorstellen, mit denen die Anwendung von Maßnahmen einfach überprüfbar werden?
 - 1) Wäre z.B. die Bestimmung einer ausreichenden Bodenbedeckung mittels Smartphone-App (wie Canopeo) oder über Fernerkundung denkbar?

Fernerkundung gehört nicht zu meiner Fachexpertise. Meines Wissens ist die Erkennung von totorganischem Material herausfordernd (grüne Biomasse ist einfacher zu messen).

Das Thünen-Institut hat einen einfachen Fächer mit Fotos von unterschiedlich stark bedeckten Böden entwickelt. Der Fächer wird bisher vor allem in der Beratung eingesetzt. Die Erfahrung zeigt, dass die Bodenbedeckung eher über- als unterschätzt wird.

2) Böden mit erhöhtem Infiltrationskapazität neigen weniger zu ungesättigtem Oberflächenabfluss (Hortonscher Runoff). Wären einfache Feldtests zur Bestimmung der Infiltrationsvermögens als Voraussetzung für die Anwendung von Produkten mit erhöhten Risiken für Gewässerorganismen denkbar?

Es gibt Möglichkeiten, wie zum Beispiel die Doppelring-Infiltrometer. Das wird häufig zu Demonstrationszwecken eingesetzt, aber eher für die Beratung oder die Wissenschaft. Die Herausforderung ist die Interpretation der Ergebnisse und es würde eine Standardisierung benötigt werden.

3) Wie könnte Ihrer Meinung nach ein Beleg erbracht werden, dass eine bestimmte Fläche auch tatsächlich unter konservierender Bodenbearbeitung bewirtschaftet wurde?

Im Rahmen einer Vor-Ort-Kontrolle sieht man das auch im Nachhinein noch sehr gut (z.B. mittels eines Spatenstichs).

Falls mit Fernerkundung gearbeitet werden soll, könnte die Tatsache genutzt werden, dass reduzierte Bodenbearbeitung zu höheren Bodewassergehalten führt. Diese lassen sich eventuell mit Boden-Wasser-Scans oder auch Scans, welche die organische Substanz an Oberflächen identifizieren, bestimmen. Für Fernerkundungen sollte man sich jedoch an andere Fachleute wenden (z.B. Thünen-Institut).

Ausblick

g) Gibt es mittel- und langfristige Entwicklungen im Pflanzenbau, die (u.U. mit Anpassungen) auch zur Reduktion von PSM-Einträgen über Runoff und Erosion genutzt werden könnten, z.B. Klimaschutz-Maßnahmen zur Erhöhung des C-Gehalts in Böden oder verstärkter Anbau mit Untersaaten oder Intercropping (Mischkulturen) im Ackerbau?

Ja.

Das Green & Green könnte viele Probleme lösen, wenn eine ganzjährige Bodendeckung erreicht wird. Aber das befindet sich erst im Versuchsstadium.

Die Agrarumweltmaßnahmen beinhalten Zwischenfrüchte. Diese Entwicklung wird bereits gefördert und ist sicher hilfreich. Untersaaten und Mischkulturen sind auch hilfreich.

Eine gegenläufige Entwicklung wird durch Herbizidresistenzen getrieben, denn diese führen dazu, dass man häufiger auf mechanische Unkrautregulierung zurückgreifen muss. Dies erhöht einerseits den Bodenabtrag, andererseits führt es zu einem geringeren PSM-Einsatz und reduziert so das Risiko für PSM-Einträge in die Oberflächengewässer.

Bezüglich C-Gehalt in Böden gibt es zwei Positionen in der Bodenkunde: A) Der C-Gehalt kann erhöht werden, aber nur bis ein neues Fließgleichgewicht erreicht ist. Der C-Gehalt kann somit nur als Systemgröße betrachtet werden. B) Der C-Gehalt ist abhängig vom Standort und Klima und kann kaum beeinflusst werden. Der Einfluss auf die Reduktion von PSM-Einträgen über Runoff und Erosion, ist schwierig zu beurteilen vor allem wenn auch hydrophobe Effekte (z.B. auf Sandböden) ins Spiel kommen. Insgesamt ist es ein sehr komplexes System und allgemeine Aussagen sind sehr schwierig.

h) Wo sehen Sie den größten Handlungsbedarf zu Steigerung der Effizienz von Risikominderungsmaßnahmen? Von welchem bisher zu wenig untersuchten Thema würden sie den größten Beitrag zum Erreichen des Ziels erwarten?

Wie bereits gesagt, ist der Fokus im Moment zu stark auf den Parzellen am Gewässerrand. Es wäre eine Einzugsgebietsbetrachtung notwendig. Außerdem sollten sowohl die Abflussbildung als auch die Abflusskonzentration berücksichtigt werden.

Die Effizienz kann gesteigert werden, wenn die Fördermaßnahmen so formuliert sind, dass der Landwirt sie in seiner Entscheidungsfindung berücksichtigt. Denn die Maßnahmen müssen immer mit anderen wirtschaftlichen Zwängen des Landwirtes konkurrieren.

Grundsätzlich wäre es besser, eine immer gleich definierte Abstandsregelung und ein immer gleich breiten Gewässerrandstreifen festzulegen. Das wäre besser zu vermitteln und leichter umsetz- und kontrollierbar.

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

A.2.3 Experte Konservierende Bodenbearbeitung

Dr. Joachim Brunotte

Thünen-Institut

Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

Bundesallee 47

DE - 38116 Braunschweig

Allgemeine Fragen

Die heute deutlich besser durchführbaren Messungen in Oberflächengewässern zeigen, dass PSM-Wirkstoffe häufig in Konzentrationen oberhalb der für die Zulassung als akzeptabel eingestuften Konzentrationen auftreten. Die Wirksamkeit von Risikominderungsmaßnahmen zur Reduktion von Einträgen durch Runoff und Erosion ist daher besser abzustützen.

a) Wie schätzen Sie das Runoff-Risiko ganz allgemein ein?

Das Risiko ist abhängig von einer Kombination von Faktoren wie Fruchtfolge, Hangneigung, Hanglänge, Bodenbedeckung, Bodentyp und den Wetterverhältnissen. Kommen hier mehrere ungünstige Faktoren zusammen, ist das Risiko für Runoff erhöht. Für die Frage, inwieweit erhöhter Runoff mit erhöhtem Verlust von PSM einhergeht, verweise ich auf die Kollegen vom Julius Kühn-Institut.

b) Was sind die größten Herausforderungen bei der Umsetzung risikomindernder Maßnahmen?

Sie sollten so konzipiert sein, daß sie sich gut in die landwirtschaftliche Praxis integrieren lassen. Wenn ein Mehraufwand unvermeidbar ist, dann sollte dieser kostenneutral entschädigt werden. Damit lässt sich Situation vermeiden, daß die Auflagen von den Landwirten als immer weiter gehende Einschränkung wahrgenommen werden. Des Weiteren sollten die Maßnahmen an den Standort angepasst sein, was wiederum die Akzeptanz erhöhen wird.

c) Wann werden die risikomindernden Maßnahmen erfolgreich und wirksam umgesetzt? (was sind die Erfolgsfaktoren?)

Wichtig ist ein Zusammenspiel der Maßnahmen. Die drei wichtigsten Aspekte sind dabei

- i) Eine hoher Bodenbedeckungsgrad vor allem auf Parzellen mit erhöhtem Risiko
- ii) Maßnahmen zur Reduktion des durch Fahrgassen bedingten Runoffs
- iii) Ausreichend breite Randstreifen

Der 2. Faktor ist zentral bei der Bekämpfung linienhafter Erosion und lässt sich bei Getreide durch sogenannte Stotterfahrgassen erreichen, in dem auf der Fahrgasse abwechseln gesät und nicht gesät wird. Diese Technik wird mittlerweile von mehreren Sämaschinenherstellern angeboten. Bei Rüben und Mais ist eine Vollbegrünung der Fahrgassen anzustreben. Das hat sich bewährt, ist aber noch wenig verbreitet.

Was die Randstreifen betrifft, muss die Befahrbarkeit diskutiert werden. Eine Befahrbarkeit würde das Vorgewende entlasten und die Verbreitung von Randstreifen würde massiv zunehmen. Eine Flexibilisierung dieser Auflage wäre daher von großem Nutzen.

d) Die zu Runoff führenden Prozesse sind komplex, was die Festlegung gut abgestützter Werte der für die Zulassung verwendeten Reduktionseffizienz erschwert. Gewisse Länder wie die Schweiz verwenden deshalb für die Zulassung Punktesysteme für risikomindernde

Maßnahmen (je nach Risiko für Gewässerorganismen dürfen gewisse Mittel dann nur mit ausreichender Punktzahl verwendet werden).

▶ Ist das ein zielführender Weg, trotz hoher Unsicherheiten ein solches System einzuführen?

Auch die derzeitigen Auflagen basieren auf einer Vereinfachung der Situation. Von dem her erscheint mir das denkbar, aber ich kenne das Punktesystem nicht.

▶ Könnte die Wahlmöglichkeiten in so einem System zu erhöhter Akzeptanz führen?

Wenn gezeigt werden kann, dass die Auflagen durch die Wahlmöglichkeiten weniger pauschal sind, dann könnte ich mir das vorstellen.

Spezifische Fragen

- e) Die heutigen Auflagen NW706 und NG 404 sehen vor, daß der Anbau mit Mulch- oder Direktsaatverfahren die Pflanzenschutzmittelverluste gleich stark reduziert wie ein 20m breiter Randstreifen Aus Beregnungsversuchen ist bekannt, dass die Effektivität schonender Bodenbearbeitung von mehreren Faktoren beeinflusst wird (Bodentyp, Bearbeitungsintensität, Bodenbedeckung, etc.) und unter ungünstigen Bedingungen zu keinerlei Reduktion der Pflanzenschutzmitteleinträge führt. Ist es denkbar zu definieren, unter welchen Bedingungen die Maßnahme "Anbau im Mulch- oder Direktsaatverfahren" effektiv ist und so deren Reduktionsleistung sicherzustellen?
- 1. Sehen Sie das auch so?

Ich sehe in meiner Region sehr deutlich, dass die unter Mulchsaat und Direktsaat angebauten Parzellen deutlich weniger Erosion aufweisen. Das ist eine direkte Folge davon, dass mit diesen Anbausystemen die Regenenergie besser aufgefangen wird und dass das Wasser besser infiltrieren kann. Die Maßnahmen setzen also an den Ursachen an. Der wichtigste Aspekt ist sicher die Bodenbedeckung, und die ist bestimmbar und messbar. Dazu hat es weiter unten im Leitfaden ja noch spezifischere Fragen.

Damit Mulch- und Direktsaat mit einer für die Reduktion des Runoffs ausreichend hohen Bodenbedeckung attraktiv bleiben, müssen aber gewisse Rahmenbedingungen erfüllt sein. Damit meine ich eine angepasste Düngergabe von 40 kg N/ha beim Auflaufen der Kulturen. Mit der heutigen Düngerverordnung ist das nicht möglich und als Folge davon, wird wieder vermehrt zum Pflug gegriffen oder 3-4 Mal gegrubbert um die Mineralisierung in Gang zu bringen. Das stellt eine bezüglich Runoff kontraproduktiven Entwicklung dar.

2. Wäre eine Eingrenzung auf bestimmte Bodentypen zielführend (z.B. wegen der erhöhten Wirksamkeit der Maßnahme auf zur Verschlämmung neigenden Böden)?

Böden mit Schluffanteilen > 50 % haben sicher ein erhöhtes Risiko. Eine Eingrenzung von Mitteln auf bestimmte Bodentypen erscheint mir aber nicht zielführend.

3. Wäre eine Eingrenzung der Bearbeitungsintensität zielführend (z.B. durch eine Beschränkung der Anzahl der Arbeitsgänge oder durch den ausschließlichen Einsatz gezogener an Stelle von zapfwellengetriebenen Geräten)?

Die Anzahl nötiger Bearbeitungsgänge ist von den Verhältnissen im jeweiligen Jahr abhängig und sollte nicht durch eine fixe Zahl vorgegeben werden. Auch die Unterscheidung von gezogenen und zapfwellengetriebenen Geräten sagt noch nichts darüber aus, wie intensiv der Boden bearbeitet wurde.

4. Neben Bodentyp und Bearbeitungsintensität spielt die Bodenbedeckung durch Mulch zum Zeitpunkt des Runoffereignisses eine wichtige Rolle. Wäre eine Vorgabe hier denkbar? Ein häufiger in der Literatur zur schonenden Bodenbearbeitung genannter und in einigen Bundesländern verwendeter Wert sind 30 % Bodenbedeckung. Wäre eine Eingrenzung anhand dieses Werts ausreichend abgestützt?

Der Wert ist sehr gut abgestützt. Eine Bodenbedeckung über 30 % führt zu Problemen bei der Bearbeitung und eine Bodenbedeckung unter 30 % reduziert die Wirksamkeit bei der Reduktion des Runoffs.

5. Wäre eine Kombination aus a)-c) zielführend?

Die wichtigste Zielgröße ist die Qualität der Bodenbedeckung. Wir haben am Institut einen Fächer entwickelt, mit dem wir die Bodenbedeckung einstufen können.

- f) Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Kontrollierbarkeit von Maßnahmen. Können Sie sich technologische Entwicklungen vorstellen, mit denen die Anwendung von Maßnahmen einfach überprüfbar werden?
 - 1. Wäre z.B. die Bestimmung einer ausreichenden Bodenbedeckung mittels Smartphone-App (wie Canopeo) oder über Fernerkundung denkbar?

Fernerkundung scheint mir kaum möglich. Apps könnten allenfalls hilfreich sein, sofern die Herausforderung nichtgrüne Pflanzenreste vom Boden zu unterscheiden, bewältigt werden kann. Bereits heute in der Praxis anwendbar wäre unser Fächer. Böden mit erhöhtem Infiltrationskapazität neigen weniger zu ungesättigtem Oberflächenabfluss (Hortonscher Runoff). Wären einfache Feldtests zur Bestimmung der Infiltrationsvermögens als Voraussetzung für die Anwendung von Produkten mit erhöhten Risiken für Gewässerorganismen denkbar?

Eine Bestimmung der Infiltrationskapazität vor dem Entscheid ein Mittel einzusetzen erscheint mir nicht praktikabel. Zudem gibt es bei dem angesprochenen Test Probleme mit Randeffekten.

3. Wie könnte Ihrer Meinung nach ein Beleg erbracht werden, dass eine bestimmte Fläche auch tatsächlich unter konservierender Bodenbearbeitung bewirtschaftet wurde?

Das ist gut machbar, und zwar durch einen Beleg der ausreichenden Bodenbedeckung. Scheint mir nicht schwieriger als festzustellen, ob der Uferstreifen für die eingesetzten Mittel breit genug war.

Ausblick

g) Gibt es mittel- und langfristige Entwicklungen im Pflanzenbau, die (u.U. mit Anpassungen) auch zur Reduktion von PSM-Einträgen über Runoff und Erosion genutzt werden könnten, z.B. Klimaschutz-Maßnahmen zur Erhöhung des C-Gehalts in Böden oder verstärkter Anbau mit Untersaaten oder Intercropping (Mischkulturen) im Ackerbau?

Über ein Klimaschutzprogramm, mit dem Ziel C-Gehalte in Ackerböden zu fördern, bin ich nicht im Bild.

Untersaaten sind in dem Sinne zielführend, dass alle Praktiken, die zusätzlich organisches Material in den Boden bringen, sinnvoll sind. Im Maisanbau bedeuten Untersaaten aber eine potenzielle Konkurrenz um Wasser, weshalb sie anspruchsvoll sind. Untersaaten im Raps scheinen mir denkbar, sind aber in Deutschland im Moment kaum verbreitet.

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

h) Wo sehen Sie den größten Handlungsbedarf zu Steigerung der Effizienz von Risikominderungsmaßnahmen? Von welchem bisher zu wenig untersuchten Thema würden sie den größten Beitrag zum Erreichen des Ziels erwarten?

Der Wissenstand bezüglich Erosion ist ausreichend. Es braucht in dem Gebiet m.E. kaum zusätzliche Untersuchungen. Der Handlungsbedarf besteht darin, das unter Punkt 3) genannte Zusammenspiel von Maßnahmen sicherzustellen. Bei der Prävention von linienhafter Erosion gibt es noch verstärkten Handlungsbedarf, konkret bei den Maßnahmen in den Fahrgassen, aber vor allem die Verbreitung der Randstreifen muss zunehmen. Die Wirtschaftlichkeit ist bei den Randstreifen dank der ausbezahlen Entschädigungen gegeben, also geht es vor allem darum, den Landwirten deren Nutzen aufzuzeigen. Eine flexiblere Nutzung von Randstreifen würde sicher zur Verbreitung beitragen.

A.2.4 Experte Herbologie, landwirtschaftliche Beratung und Gewässerschutz

Dr. Klaus Gehring
Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Pflanzenschutz
Lange Point 10
DE - 85354 Freising

Allgemeine Fragen

Die heute deutlich besser durchführbaren Messungen in Oberflächengewässern zeigen, dass PSM-Wirkstoffe häufig in Konzentrationen oberhalb der für die Zulassung als akzeptabel eingestuften Konzentrationen auftreten. Die Wirksamkeit von Risikominderungsmaßnahmen zur Reduktion von Einträgen durch Runoff und Erosion ist daher besser abzustützen.

- a) Wie schätzen Sie das Risiko durch Runoff und Erosion ganz allgemein ein?
 - Runoff und Erosion tragen sicher in relevantem Maß zur Belastung von Oberflächengewässern bei. Meine Einschätzung ist, dass die Einträge von Punktquellen am größten sind, gefolgt von Runoff und bei entsprechenden, extremen Witterungsereignissen lokal bzw. regional auch Erosion.
- b) Was sind die größten Herausforderungen bei der Umsetzung risikomindernder Maßnahmen?
 - Die größte Herausforderung ist die Wahl eines für die standortspezifische Situation geeigneten Maßnahmenpakets. Die Herausforderung beinhaltet sowohl eine technische als auch eine emotionale Komponente hinsichtlich Know-how und Bereitschaft zur Implementierung angepasster Maßnahmen. Des Weiteren ist es für einen effektiven Gewässerschutz ein Engagement notwendig, auch über die derzeit gültigen Anwendungsbestimmungen hinaus Maßnahmen für den aktiven Gewässerschutz umzusetzen.
- c) Wann werden die risikomindernden Maßnahmen erfolgreich und wirksam umgesetzt? (was sind die Erfolgsfaktoren?)
 - Eine erfolgreiche Umsetzung basiert auf direkter Zusammenarbeit von Landwirten und Beratern oder Wasserversorgern. Das im Bundesland Oberösterreich eingeführte Beratungssystem ist ein Beispiel für eine erfolgreiche Umsetzung. Auch in Bayern sind spezielle Wasserberater in der Landwirtschaftsverwaltung eingesetzt. Hier zeigt sich, dass die Verminderung von Nährstoffausträgen und der Erosionsschutz als primäre Handlungsfelder betrieben werden. Das komplexe Feld zur Vermeidung von Wirkstoffausträgen wird in gewisser Weise im Beipack der Erosionsschutzmaßnahmen mitberücksichtigt.
- d) Die zu Runoff führenden Prozesse sind komplex, was die Festlegung gut abgestützter Werte der für die Zulassung verwendeten Reduktionseffizienz erschwert. Gewisse Länder wie die Schweiz verwenden deshalb für die Zulassung Punktesysteme für risikomindernde Maßnahmen (je nach Risiko für Gewässerorganismen dürfen gewisse Mittel dann nur mit ausreichender Punktzahl verwendet werden).
- ▶ Ist das ein zielführender Weg, trotz hoher Unsicherheiten ein solches System einzuführen?

Ich kann mir nicht vorstellen, dass auf Produktebene ein Punktesystem zielführend ist. Die Komplexität der Anwendungsbestimmungen ist jetzt schon sehr hoch. Zudem dürfte die unterschiedliche Kontrollierbarkeit der Maßnahmen Schwierigkeiten bringen.

▶ Könnten die Wahlmöglichkeiten in so einem System zu erhöhter Akzeptanz führen?

Das dürfte davon abhängen, in welchem Maß der jeweilige Betrieb betroffen ist und wie praxistauglich und aufwändig die einzelnen "Punkte-Maßnahmen" sind.

Spezifische Fragen

- e) Die heutigen Auflagen NW706 und NG 404 sehen vor, daß der Anbau mit Mulch- oder Direktsaatverfahren die Pflanzenschutzmittelverluste gleich stark reduziert wie ein 20m breiter Randstreifen Aus Beregnungsversuchen ist bekannt, dass die Effektivität schonender Bodenbearbeitung von mehreren Faktoren beeinflusst wird (Bodentyp, Bearbeitungsintensität, Bodenbedeckung, etc.) und unter ungünstigen Bedingungen zu keinerlei Reduktion der Pflanzenschutzmitteleinträge führt. Ist es denkbar zu definieren, unter welchen Bedingungen die Maßnahme "Anbau im Mulch- oder Direktsaatverfahren" effektiv ist und so deren Reduktionsleistung sicherzustellen?
- 1. Sehen Sie das auch so?

In Bayern wird eine Mulch-Bedeckung von 30 % zum Behandlungstermin als ausreichend betrachtet. Dieses Ziel zu erreichen stellt in der Praxis eine große Herausforderung dar. Grundsätzlich wäre eine genauere Definition des Mulchsaatsystems wünschenswert, denn derzeit ist es nicht fachrechtlich hinterlegt.

2. Wäre eine Eingrenzung auf bestimmte Bodentypen zielführend (z.B. wegen der erhöhten Wirksamkeit der Maßnahme auf zur Verschlämmung neigenden Böden)?

Eine Spezifizierung hinsichtlich Bodenart oder –typ erscheint mir nicht zielführend. Die Effizienz des Mulchsaatverfahrens hängt im Wesentlichen von der Durchwurzelung und Aufwuchsintensität der Winterzwischenfrucht sowie der Bearbeitung vor bzw. zur Saat ab. Die Optimierung des Verfahrens hängt zudem von externen Bedingungen und Vorgaben, wie den klimatischen Verhältnissen und den Auflagen der Düngeverordnung, ab.

3. Wäre ein Eingrenzung der Bearbeitungsintensität zielführend (z.B. durch eine Beschränkung der Anzahl Arbeitsgänge oder durch den ausschließlichen Einsatz gezogener an Stelle von zapfwellengetriebenen Geräten)?

Eine fixe Anzahl Arbeitsgänge oder Vorgaben zur Gerätetechnik ist praxisfremd.

4. Neben Bodentyp und Bearbeitungsintensität spielt die Bodenbedeckung durch Mulch zum Zeitpunkt des Runoff-Ereignisses eine wichtige Rolle. Wäre eine Vorgabe hier denkbar? Ein häufiger in der Literatur zur schonenden Bodenbearbeitung genannter und in einigen Bundesländern verwendeter Wert sind 30 % Bodenbedeckung. Wäre eine Eingrenzung anhand dieses Werts ausreichend abgestützt?

Es gibt Meta-Studien welche den Wert von 30 % ausreichend stützen, z.B. die von Laflen et al. aus dem Jahr 1985. Eine höhere Bodenbedeckung ist schlicht nicht praktikabel, auch wenn sie rein aus der Sicht der Prävention von Runoff und Erosion wünschenswert wäre.

5. Wäre eine Kombination aus a)-c) zielführend?

Nein. Eine quantitative Beschreibung des Mulchbedeckungsgrades ist ausreichend. Zudem sind Hangneigung und –länge, Topographie und die jeweiligen Witterungsverhältnisse relevanter als die Bodenart und die Bearbeitung.

- f) Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Kontrollierbarkeit von Maßnahmen. Können Sie sich technologische Entwicklungen vorstellen, mit denen die Anwendung von Maßnahmen einfach überprüfbar wäre?
 - 1. Wäre z.B. die Bestimmung einer ausreichenden Bodenbedeckung mittels Smartphone-App (wie Canopeo) oder über Fernerkundung denkbar?

Falls die Bestimmung per Smartphone justiziabel ist dann ja. Fernerkundung dürfte nicht ausreichen. Sie kann Erosionsfälle und grundsätzliche Risikopotenziale aufzeigen, aber daraus lässt sich noch nicht ableiten, wie hoch das Schutzniveau aktueller Maßnahmen zur Vermeidung von Runoff sein kann.

2. Böden mit erhöhter Infiltrationskapazität neigen weniger zu ungesättigtem Oberflächenabfluss (Hortonscher Runoff). Wären einfache Feldtests zur Bestimmung des Infiltrationsvermögens als Voraussetzung für die Anwendung von Produkten mit erhöhten Risiken für Gewässerorganismen denkbar?

Nein, die Anwendung von technischen Bestimmungsmethoden vor Ort, wie z.B. der Doppelringinfiltrometertest, wäre weder in der Vielzahl der Fälle umsetzbar noch überprüfbar. Außerdem sind solche Messwerte durch eine sehr hohe räumliche und zeitliche Variabilität charakterisiert.

3. Wie könnte Ihrer Meinung nach ein Beleg erbracht werden, dass eine bestimmte Fläche auch tatsächlich unter konservierender Bodenbearbeitung bewirtschaftet wurde?

In der absoluten Mehrzahl der Fälle ist eine konservierende Bodenbearbeitung aufgrund der Abdeckung mit Mulchmaterial augenfällig. Bei Grenzfällen bzw. nach einen gewissen Zeitverlauf kann es allerdings durchaus schwierig werden das Bearbeitungsverfahren zu belegen. Zumindest die Bodenbedeckung wird auf Flächen mit hoher Regenwurmaktivität und bei sehr feinstrukturierten Mulchmaterial im Lauf der Zeit von den Würmern in den Boden eingearbeitet. Daher muss die Fachrechtskontrolle in einem engen Zeitfenster erfolgen, um im Zweifelsfall gerichtsverwertbare Erhebungen vornehmen zu können.

Ausblick

g) Gibt es mittel- und langfristige Entwicklungen im Pflanzenbau, die (u.U. mit Anpassungen) auch zur Reduktion von PSM-Einträgen über Runoff und Erosion genutzt werden könnten, z.B. Klimaschutz-Maßnahmen zur Erhöhung des C-Gehalts in Böden oder verstärkter Anbau mit Untersaaten oder Intercropping (Mischkulturen) im Ackerbau?

Es gibt Betriebe, die einen gezielten Humusaufbau durchführen und weitere in der Fragestellung erwähnte Ansätze anwenden, aber der Flächenanteil ist bisher doch sehr begrenzt. Gras-Untersaaten im Maisanbau werden in Deutschland zum Beispiel vor allem im Bundesland Nordrhein-Westfalen vorgenommen und zwar auf Flächen, auf denen Mais im Daueranbau angebaut wird. Unter diesen Bedingungen ist ein Zwischenfruchtanbau überhaupt nicht möglich, denn die Ernte des Maises erfolgt zu spät in der Saison. Andere Verfahren, wie etwa die Etablierung von Grassamenbeständen als Untersaat im Getreidebau oder verschiedene Mischkultursysteme im Bereich der Energiepflanzenproduktion haben als Spezialanbauverfahren nur einen sehr begrenzten Flächenumfang. Letztlich ist die

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

zwingende Ökonomik im konventionellen Ackerbau der begrenzende Faktor für die Umsetzung dieser Produktionstechniken.

Im Gegensatz zu den oben genannten positiven Effekten gibt es auch die gegenläufige Entwicklung zum vermehrten Einsatz des Pfluges und intensiverer Bodenbearbeitung. Ein Verbot des Breitbandherbizids Glyphosat würde die Umsetzung des Anbaus im Mulch- und Direktsaatverfahren erheblich reduzieren und die Intensität der Bodenbearbeitung verstärken.

h) Wo sehen Sie den größten Handlungsbedarf zu Steigerung der Effizienz von Risikominderungsmaßnahmen? Von welchem bisher zu wenig untersuchten Thema würden sie den größten Beitrag zum Erreichen des Ziels erwarten?

Es braucht letztlich eine Förderung der guten fachlichen Praxis, die über das Maß der fachrechtlichen Vorgaben hinausgeht. Hierfür ist es erforderlich die Verfügbarkeit von Fachberatung deutlich zu verbessern und auch den Umfang und die Qualität von entsprechenden Förderprogrammen zu erhöhen. Maßnahmen zur Minderung des Risikos von Runoff und Erosion sind auch eine Leistung für die Allgemeinheit und sollten daher unterstützt werden.

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

A.2.5 Experte Pflanzenschutzdienst

Michael Morgenstern
Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Pflanzenschutzdienst
FGL Risiko- und Kontrollmanagement
Müllroser Chaussee 54
15236 Frankfurt (Oder)

Allgemeine Fragen

Die heute deutlich besser durchführbaren Messungen in Oberflächengewässern zeigen, dass PSM-Wirkstoffe häufig in Konzentrationen oberhalb der für die Zulassung als akzeptabel eingestuften Konzentrationen auftreten. Die Wirksamkeit von Risikominderungsmaßnahmen zur Reduktion von Einträgen durch Runoff und Erosion ist daher besser abzustützen.

a) Wie schätzen Sie das Runoff- & Erosion Risiko ganz allgemein ein?

Hier in Brandenburg ist es eher flach, so dass Runoff und Erosion außer in der Uckermark kaum ein Thema sind. Das höchste Risiko für PSM-Einträge in die Gewässer sind punktuelle Einträge, gefolgt von Abdrift. Runoff und Erosion spielen hier eher eine untergeordnete Rolle.

Jedoch sind die Länder im Süden oder mit Mittelgebirgen eher durch Runoff und Erosion betroffen, da dort die Flächen durchaus eine Hangneigung aufweisen können.

Ganz grundsätzlich sind PSM-Einträge durch Runoff und Erosion schon ein Thema: Grob geschätzt liegt das größte Risiko bei punktuellen Quellen (50 %), der größte Teil der restlichen 50 % bei Runoff & Erosion, sofern die landschaftlichen Gegebenheiten gegeben sind.

b) Was sind die größten Herausforderungen bei der Umsetzung risikomindernder Maßnahmen?

Es gibt komplexe Ursachen für Runoff & Erosion, und diese komplexen Ursachen (Bodenbedeckung, Bodenbearbeitung, Hanglänge, --> siehe Bodenabtragsmodel ABAGI) sind schwierig in einfachen Maßnahmen abzubilden.

Außerdem müssen die formulierten Maßnahmen rechtssicher sein.

c) Wann werden die risikomindernden Maßnahmen erfolgreich und wirksam umgesetzt? (was sind die Erfolgsfaktoren?)

Die Maßnahme muss auf den Landwirt und nicht auf die Wissenschaft ausgelegt sein. Das heißt, sie muss einfach nachvollziehbar und für Landwirte akzeptierbar sein. Maßnahmen sind akzeptierbar, wenn sie sich gut in den normalen Betrieb einfügen lassen und nicht mit anderen betriebswirtschaftlichen Aspekten konkurrieren müssen. So könnte z.B. die Konturbewirtschaftung eine effektive Maßnahme sein. Falls in der Praxis jedoch z.B. die Standsicherheit nicht gegeben ist, wird die Umsetzung schwierig.

Die Maßnahme muss so formuliert sein, dass sie jetzt oder zumindest mittelperspektivisch umsetzbar sind. Für Landwirten ist es schwierig, eine Technik (z.B. Landwirtschaftsmaschinen) zu ersetzen, wenn diese noch nicht abgeschrieben sind. Aus diesem Grunde ist die Verwendung von Fristen zentral.

d) Die zu Runoff führenden Prozesse sind komplex, was die Festlegung gut abgestützter Werte der für die Zulassung verwendeten Reduktionseffizienz erschwert. Gewisse Länder wie die

Schweiz verwenden deshalb für die Zulassung Punktesysteme für risikomindernde Maßnahmen (je nach Risiko für Gewässerorganismen dürfen gewisse Mittel dann nur mit ausreichender Punktzahl verwendet werden).

▶ Ist das ein zielführender Weg, trotz hoher Unsicherheiten ein solches System einzuführen?

Es ist sicher eine Möglichkeit, falls es nicht zu kompliziert ist. In der Vergangenheit gab es in Deutschland ein ähnliches Punkte - System für Abdrift (NW602 /603 von 2000), dies hatte sich aber nicht durchgesetzt.

Grundsätzlich ist es sicher ein guter Ansatz, aber es muss in der Umsetzung, Kontrollierbarkeit und Belastbarkeit sicher sein, und es muss akzeptiert sein.

Aus der Erfahrung mit der Cross Compliance hat sich gezeigt, dass es oft CC – relevante Anwendungsbestimmungen gibt. Da es sich bei Verstößen dann relativ rasch um größere Beträge handeln kann, gibt es relativ schnell Klagen, und es werden formale Fehler herausgearbeitet, um diese für Klagen zu verwenden.

Aus diesem Grunde ist bei neuen Auflagen und / oder Maßnahmen darauf zu achten, dass sie wirklich rechtssicher formuliert sind.

▶ Könnte die Wahlmöglichkeiten in so einem System zu erhöhter Akzeptanz führen?

Ja (siehe oben)

Spezifische Fragen

- e) Die heutigen Auflagen NW706 und NG 404 sehen vor, dass der Anbau mit Mulch- oder Direktsaatverfahren die Pflanzenschutzmittelverluste gleich stark reduziert wie ein 20m breiter Randstreifen Aus Beregnungsversuchen ist bekannt, dass die Effektivität konservierender Bodenbearbeitung von mehreren Faktoren beeinflusst wird (Bodentyp, Bearbeitungsintensität, Bodenbedeckung, etc.) und unter ungünstigen Bedingungen zu keinerlei Reduktion der Pflanzenschutzmitteleinträge führt.
- 1. Ist es denkbar zu definieren, unter welchen Bedingungen die Maßnahme "Anbau im Mulchoder Direktsaatverfahren" effektiv ist und so deren Reduktionsleistung sicherzustellen?
 - Ja, gewisse Aspekte sollten unbedingt genauer definiert werden. So sollte die Bedeckung mit organischer Substanz genauer definiert werden, also Strohreste, und weitere abgestorbene Zwischenfruchtanteile konkret benennen. Zwar ist danach immer noch unklar, ob der Boden darunter gelockert ist, aber dies wäre der erste und ein wichtiger Schritt. Die Mulchsaat-Technik kann als eine nicht-wendende Bodenbearbeitungstechnik, die den aktuellen Anwendungsbestimmungen genügt, ausgelegt werden. Die Qualität dieser speziellen Bestelltechnik kann nicht rechtssicher kontrolliert werden.
- 2. Wäre eine Eingrenzung auf bestimmte Bodentypen zielführend (z.B. wegen der erhöhten Wirksamkeit der Maßnahme auf zur Verschlämmung neigenden Böden)?

Ja sicher, z.B. sandige Böden oder sehr steinige Böden sind durchlässig, das könnte man berücksichtigen.

Das Projekt TOPPS-Prowadis hat hier einen guten und zielführenden Ansatz. Bei TOPPS-Prowadis spielt die Durchlässigkeit des Bodens eine große Rolle in der Risikobeurteilung und bei den Maßnahmen.

3. Wäre eine Eingrenzung der Bearbeitungsintensität zielführend (z.B. durch eine Beschränkung der Anzahl Arbeitsgänge oder durch den ausschließlichen Einsatz gezogener anstelle von zapfwellengetriebenen Geräten)?

Keine Erfahrung.

4. Neben Bodentyp und Bearbeitungsintensität spielt die Bodenbedeckung durch Mulch zum Zeitpunkt des Runoffereignisses eine wichtige Rolle. Wäre eine Vorgabe hier denkbar? Ein häufiger in der Literatur zur konservierenden Bodenbearbeitung genannter und in einigen Bundesländern verwendeter Wert sind 30 % Bodenbedeckung. Wäre eine Eingrenzung anhand dieses Werts ausreichend abgestützt?

Ja, in Kombination zur unter a) erwähnten Spezifizierung. 30 % ist ein guter Wert. 50 % wäre zu anspruchsvoll: dies kann je nach Bedingungen nicht gewährleistet werden (z.B. nach einem trockenen Jahr wäre dies mit Getreide nicht zu erreichen)

5. Wäre eine Kombination aus b)-d) zielführend?

Ia, dies scheint sinnvoll.

- f) Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Kontrollierbarkeit von Maßnahmen. Können Sie sich technologische Entwicklungen vorstellen, mit denen die Anwendung von Maßnahmen einfach überprüfbar werden?
 - 1. Wäre z.B. die Bestimmung einer ausreichenden Bodenbedeckung mittels Smartphone-App (wie Canopeo) oder über Fernerkundung denkbar?

Mir sind keine diesbezüglichen Smartphone Apps bekannt. Aber falls es solche gibt, wäre dies sicher wertvoll.

Fernerkundung: Mir persönlich ist nicht klar, wie das funktionieren könnte (z.B. müsste je nach Anwendungsart auch der Zeitpunkt passen).

2. Böden mit erhöhtem Infiltrationskapazität neigen weniger zu ungesättigtem Oberflächenabfluss (Hortonscher Runoff). Wären einfache Feldtests zur Bestimmung der Infiltrationsvermögens als Voraussetzung für die Anwendung von Produkten mit erhöhten Risiken für Gewässerorganismen denkbar?

Ich will das nicht ausschließen, aber die Anwendung in der Kontrolle ist meiner Meinung nach schwierig. Die Tests für Infiltration sind eher für Spezialisten ausgelegt. Für Kontrolleure wäre die Anwendung zu aufwändig. Der Ansatz von TOPPS-prowadis mit dem Fragenkatalog (Bodenart, Zustand des Boden (z.B. eher festgefahren, ...)) scheint mir zielführender.

Grundsätzlich handelt es sich hier um einen Aspekt, welcher kaum im Rahmen von Kontrollen ausreichend schnell geklärt werden kann, insbesondere unter dem Aspekt, dass es auch belastbar sein muss.

3. Wie könnte Ihrer Meinung nach ein Beleg erbracht werden, dass eine bestimmte Fläche auch tatsächlich unter konservierender Bodenbearbeitung bewirtschaftet wurde?

Der Beleg kann erbracht werden, wenn es viel organische Substanz auf der Bodenoberfläche gibt (sonst wäre diese nicht mehr vorhanden). Dies bedingt natürlich, dass es keine nachträgliche Einarbeitung gibt/gab, welche die Wirkung zunichtemacht.

Ansonsten ist es schwierig, die konservierende Bodenbearbeitung zu belegen.

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Ausblick

g) Gibt es mittel- und langfristige Entwicklungen im Pflanzenbau, die (u.U. mit Anpassungen) auch zur Reduktion von PSM-Einträgen über Runoff und Erosion genutzt werden könnten, z.B. Klimaschutz-Maßnahmen zur Erhöhung des C-Gehalts in Böden oder verstärkter Anbau mit Untersaaten oder Intercropping (Mischkulturen) im Ackerbau?

Ja, die gibt es. Alle Entwicklungen, welche die Untersaat fördern, reduzieren auch das Runoff und Erosionsrisiko.

Des Weiteren gibt es durch die Entwicklungen im Precision Farming immer bessere Techniken, um z.B. Saatstärken oder Düngermengen einzustellen. Hier könnten auch Bodenbearbeitungsaspekte eingebaut werden.

h) Wo sehen Sie den größten Handlungsbedarf zu Steigerung der Effizienz von Risikominderungsmaßnahmen? Von welchem bisher zu wenig untersuchten Thema würden sie den größten Beitrag zum Erreichen des Ziels erwarten?

Die Diskussion der PSM – Einträge durch Runoff und Erosion sollte auf die extremen Standorte fokussieren. Das heißt, auch in der Zulassung sollte man vermehrt auf Standorteigenschaften eingehen und genauer differenzieren. Eine standortangepasste Zulassung gibt es grundsätzlich bereits, da an gewissen Standorten einige PSM nicht mehr angewendet werden dürfen.

Ausserdem ist es wichtig, auf normale Witterungsbedingungen und nicht auf Extremereignisse zu fokussieren. 2019 gab es in einigen Regionen Regenmengen, welche zuvor noch nie beobachtet wurden. Damals waren alle Barrieren überfordert, und PSM-Einträge in die Gewässer konnten wohl nicht jederzeit verhindert werden. Dies war aber kein Normalfall, sondern es handelte sich um Extremereignisse. Es soll keine 100 % Sicherheit angestrebt werden, sondern akzeptiert werden, dass es Extremereignisse geben kann, diese aber sehr selten sind.

B Anhang: Ergänzende Informationen zu den Querdämmen

B.1 Versuchsaufbau Querdämme auf dem Feld

Für die Auswertung der Wirksamkeit von Querdämmen im Kartoffelanbau (Micro-dams) wurde auf die von Sittig et al. (2020a) zusammengestellten ereignisbasierten Daten (Tabelle 20) zurückgegriffen, die fünf Studien in der Kartoffel auf sechs Standorten mit unterschiedlichen Geräten (Querdammhäufler) umfasst. Darüber hinaus werden zwei Studien mit Daten zur Wirkstoffreduktion in Mais und zur Kartoffel aufgenommen.

Tabelle 20: Beschreibung der von Sittig et al. (2020a) ausgewerteten Querdamm-Studien.

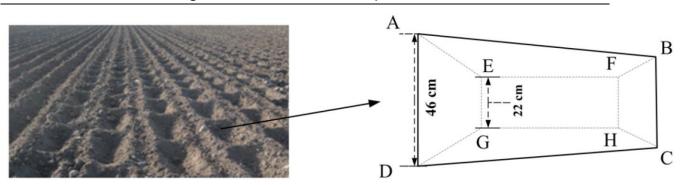
Untersuchung	Olivier et al. (2014)	Goffart et al. (2013)	Aurbacher et al. (2010)	Areas (2005)	Areas (2007)	CIPF (2013)	UCL (2012)
Kultur	Kartof- feln	Kartoffeln	Kartoffeln	Kartoffeln	Kartof- feln	Mais	Mais
Gerät	Bar- butte	Barbutte	Eigenentwick- lung	Prototyp (Grimme)	Prototyp (Grimme)	Scheiben- pflug und Rohrstab- walze	Scheiben- pflug und Rohrstab- walze
Bodenart	sandi- ger Lehm	verschiedene, max 28 % Sand	Lössboden (schluffig)	schluffiger Lehm	Lehm	sandiger Lehm	keine An- gabe
Beregnung	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Höhe des Damms (cm)	10-17	10-17	20-27	ca. 5	13	einige cm	
Distanz zwi- schen Däm- men (m)	1,5	1,6	1,5-8	1,6	1,5	einige cm	
Länge/Fläche der Parzelle	30 m	30 m	unbekannt	ca. 5 m	un– bekannt	72 m²	75 m²
Neigung (%)	>3	<3 und >3	2-10	<3	<4	9 und 16	10 - 12
Wirkstoff appliziert	Ja, n=4	Ja, n=5	nein	nein	nein	ja, n=4	ja, n=1

Quelle Sittig S, Sur R, Baets D, Hammel K (2020a).

Außerdem wurden die sehr gut dokumentierten Studien von Sui et al. (2016), Keshavarz et al. (2020) und Truman and Nuti (2010), sowie der Review von Silva (2017) für die Auswertung herangezogen.

Sui et al. (2016) untersuchten die Reduktionseffizienz von Querdämmen in Bezug auf Oberflächenabfluss und Erosion im Maisanbau in der Tschernosem-Region von Nordostchina. Die von Sui et al. (2016) verwendeten Querdämme sind jedoch denen im Kartoffelanbau benutzten relativ ähnlich. So ist die Höhe der Querdämme mit 14 cm und die Distanz zwischen den Querdämmen mit 65-85 cm vergleichbar zu den in Sittig et al. (2020) untersuchten Querdämmen in der Kartoffel (vgl. Tabelle 5 im Anhang und Abbildung 2). Die Studie von Sui et al. (2016) wurde daher in die Auswertung mit einbezogen.

Abbildung 26: Dimensionen und Form der Querdämme (Die Vergrößerung zeigt die Draufsicht einer Vertiefung zwischen zwei Querdämmen)



Quelle: Sui Y, Ou Y, Yan B, Xu X, Rousseau AN, Zhang Y (2016). Assessment of Micro-Basin Tillage as a Soil and Water Conservation Practice in the Black Soil Region of Northeast China. PLoS ONE 11 (3): e0152313. doi:10.1371/journal.pone.0152313

In der Studie von Keshavarz et al. (2020) wurde für Furchenbewässerung der Effekt von Querdämmen auf die Infiltration, und damit auf den Verlust von Bewässerungswasser untersucht. Das Versuchsaufbau war folgender:

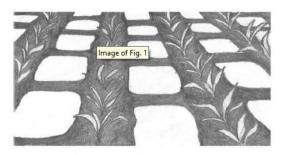
- ► Kultur: keine
- ▶ Querdämme: trapezoid (untere Breite: 15 cm, obere Breite: 25 cm; Höhe: 5 cm)
- ▶ Bodentextur: toniger Lehm
- Länge der Bewässerungsfurchen: 100 m.
- ▶ Varianten: 10 m bzw. 20 m Abstand zwischen Querdämmen (d.h. Faktor 6 bzw. 13 größer als bei Mikrodämmen in Kartoffel)
- ▶ vier Bewässerungsereignisse im Abstand von 4 h.

Truman and Nuti (2010) untersuchten mit Hilfe von simuliertem Regen die Wirksamkeit von Querdämmen für wendende Bodenbearbeitung und Streifensaat (strip tillage) im Erdnussanbau in einem Acrisol in der Küstenebene von Georgia. Auf Parzellen von 6 m² wurde eine Stunde lang mit einer Zielintensität von 50 mm/h beregnet.

Der Review von Silva (2017) untersucht die Reduktionseffizienz hinsichtlich Oberflächenabfluss von Becken ("basins") und Reservoirs ("reservoirs") für künstliche Bewässerung mittels

Beregnung (sprinkling irrigation). Die Becken entsprechen den Becken zwischen Querdämmen (Micro-dams), während Reservoirs kleiner, aber tiefer sind (Silva, 2017).

Abbildung 27: Becken (links) vs. Reservoirs (rechts). Schematische Abbildung.





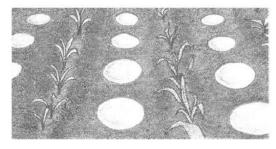


Fig. 2. Reservoir tillage in a ponding situation.

Quelle: Silva, L.L., MarquesdaSilva, J.R., Pisco, A.M.V., Torres, C.J.V., 2010. No-till and Basintillage for reducing runoff and sediment yield on centre-pivot irrigated maizein a Mediterranean soil. In: Proceedings of the EurAgeng 2010 ConferenceTowards Environmental Technologies, Clermont-Ferrand, France, p. 10.

B.2 Reduktion des Oberflächenabflusses durch Querdämme

Die gemessenen ereignisbasierten Oberflächenabflüsse in den von Sittig et al. (2020) untersuchten Studien im Kartoffelanbau und die jeweils angepassten Curve Numbers sind in Tabelle 21 dargestellt.

Die ergiebigste Studie war die von Olivier et al. (2014), weil hier ereignisbasierte Daten für eine ganze Zeitreihe vorlagen. Es ist bekannt, dass die Curve Number vom Bodenfeuchtestatus abhängt (Carsel et al., 2003). Dementsprechend variieren die berechneten Curve Numbers stark je nach Bodenfeuchtestatus vor den Niederschlagsereignissen. Dies bedeutet wiederum, dass der Bodenfeuchtestatus bei Vorhersagen mit dem CN-Ansatz immer mitberücksichtigt werden muss.

Die Studien von Areas (2005) und (2007) beinhalten jeweils nur einen Datenpunkt, zeigen aber eine deutliche Reduktion der Curve Number durch die Querdämme. Aurbacher et al. (2010) berichten nur die über 35 einzelne Versuche gemittelte Runoff-Reduktion (Rohdaten nicht verfügbar). Die Anpassung der Curve Number an gemittelte Runoffdaten ist wegen der Nichtlinearität des CN-Ansatzes allerdings nur valide, wenn die Regenmenge in allen Versuchen annähernd gleich ist.

Sittig et al. (2020) ermittelten ein (interpoliertes) 10. Perzentil der CN-Reduktion durch die Querdämme von 12 Punkten, basierend auf den vier gemittelten Werte der CN-Reduktion fuer jede der vier Studien in Tabelle 21 (Olivier et al., 2014; Aurbacher et al., 2010; Areas, 2005; Areas, 2007). Es ist allerdings statistisch ungünstig, aus vier Datenpunkten ein 10. Perzentil zu berechnen.

Tabelle 21 zeigt die über die Anbausaison summierten Oberflächenabflüsse aus der Studie von Goffart et al. (2013). Da hier nur saisonal aggregierte und keine eventbasierten Daten vorlagen, konnten hier keine CN angepasst werden, sondern nur der Runoff-Koeffizient berechnet werden. Der Runoff-Koeffizient (Verhältnis von Oberflächenabfluss zu Niederschlag für eine bestimmte Periode) wurde durch die Querdämme deutlich reduziert, mit Ausnahme des Standorts Baisy-Thy in der Saison 2010, wo in beiden Varianten kaum Oberflächenabfluss auftrat.

Tabelle 22 zeigt den von Sui et al. (2016) berichteten monatlichen Oberflächenabfluss für zwei Anbauperioden und jeweils 3 Monate. In allen Monaten reduzierten die Querdämme das Oberflächenabflussvolumen um mehr als 50 %.

In Tabelle 24 sind vier einzelne Runoff-Ereignisse aus Sui et al. (2016) mit gemessenem Oberflächenabfluss und angepasster CN in Mais dargestellt. Die Curve Numbers verringern sich durch die Querdämme um 7 Punkte (im Mittel über die vier Ereignisse und drei Querdamm-Varianten). Die Unterschiede zwischen den Varianten hinsichtlich ihrer Reduktionseffizienz des Oberflächenabflusses sind vernachlässigbar.

Tabelle 26 zeigt die berechneten Curve Numbers für die verschiedenen Bewässerungsereignisse, Querdammvarianten und Zuflussraten in der Studie von Keshavarz et al. (2020). Querdämme mit 10 m Abstand erweisen sich als effektiver als Querdämme mit 20 m Abstand. Der Anstieg der Curve Number vom ersten bis zum dritten Bewässerungsereignis lässt sich mit der zunehmenden Bodenfeuchte erklären. Die mittlere Curve Number verringert sich durch die Querdämme um 9 Punkte (Mittelwert über alle vier Ereignisse, zwei Zuflussraten und zwei Querdammvarianten).

Die auf Basis der Studie von Truman und Nuti (2010) berechneten Curve Numbers sind in Tabelle 27 dargestellt. Streifensaat (mit oder ohne Querdämme) führte zu geringerem Oberflächenabfluss und niedrigeren CN als konventionelle Bodenbearbeitung (mit oder ohne

Querdämme). Für beide Bodenbearbeitungsmethoden führten die Querdämme ebenfalls zu einer Reduktion des Runoff-Koeffizienten und der Curve Number. Der Effekt war jedoch deutlich ausgeprägter für konventionelle Bodenbearbeitung als für Streifensaat. Zusammengefasst war von beiden Maßnahmen Streifensaat die effektivere

Tabelle 27 zeigt die von Silva (2017) zusammengestellten Runoff-Koeffizienten für konventionelle Bodenbearbeitung, Becken ("basins") und Reservoirs ("reservoirs") unter künstlicher Beregnung. Sowohl Becken als auch Reservoirs (letztere sind kleiner, aber tiefer als Becken; vgl.) stellten sich als effektiv in der Reduktion des Oberflächenabflusses gegenüber konventioneller Bodenbearbeitung heraus. Es lagen allerdings keine Studien vor, in denen sowohl Becken als auch Reservoirs untersucht wurden.

Tabelle 21: Gemessener Oberflächenabfluss und angepasste Curve Numbers in den von Sittig et al. (2020) untersuchten Studien für Kartoffelkulturen

				•						
Studie	Ereignis	P mm	Runoff Kontrolle mm	Runoff Querdamm mm	Runoff Reduktion %	CN Kontrolle	CN Querdamm	CN- Reduktion	Textur	Hangneigung %
Olivier et al. (2014)	18.05.2011	40,0	0,058	0,018	69,0	58	57	1	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	25.05.2011	15,0	0,034	0,004	88,2	79	78	1	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	01.06.2011	8,9	0,178	0,024	86,5	89	87	2	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	09.06.2011	30,0	3,333	0,225	93,2	79	67	12	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	15.06.2011	8,0	0,070	0,039	44,3	89	88	1	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	20.06.2011	16,0	1,570	0,107	93,2	87	79	8	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	23.06.2011	6,1	0,047	0	100,0	91	<90	>1	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	29.06.2011	36,0	>7,407 ¹⁾	2,000	>73,0	>82	71	>11	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	01.07.2011	5,1	1,393	0,090	93,5	97	93	4	Sandy Ioam	>3
Olivier et al. (2014)	08.07.2011	2,5	0	0,009	n.a.	<96	96	<0	Sandy Ioam	>3
Olivier et al. (2014)	12.07.2011	0,9	0,004	0,006	-50,0	99	99	0	Sandy loam	>3

Teilvorhaben 1:
Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln – Abschlussbericht

Studie	Ereignis	P mm	Runoff Kontrolle mm	Runoff Querdamm mm	Runoff Reduktion %	CN Kontrolle	CN Querdamm	CN- Reduktion	Textur	Hangneigung %
Olivier et al. (2014)	19.07.2011	41,0	2,519	0,121	95,2	69	58	11	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	26.07.2011	20,0	1,126	0,104	90,8	82	75	7	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	04.08.2011	7,5	0,026	0,004	84,6	89	88	1	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	09.08.2011	19,0	0,714	0,127	82,2	81	76	4	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	16.08.2011	37,0	5,541	0,637	88,5	78	65	13	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	19.08.2011	40,0	>7,407	6,667	>10,0	>79	78	>1	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	24.08.2011	33,0	>7,407	6,963	>6,0	>84	83	>1	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	30.08.2011	15,0	>7,407	6,222	>16,0	>96	95	>1	Sandy loam	>3
Olivier et al. (2014)	total	381	>46,2	23,4	>49,4	83 ²⁾	73 ²⁾	10 ²⁾	Sandy loam	>3
Aurbacher et al. (2010) 3)		68 ¹⁾	19,5 ¹⁾	0,4 1	97,9	75	39	36	silty (loess)	2 - 10
Areas (2005) 4)		40				92	73	17	silt loam	
Areas (2007)		30	19	3	84,2	95	78	9	loam	

¹⁾ Überlauf des Auffangbehälters ²⁾ mit dem Niederschlag gewichtetes Mittel über alle Ereignisse (Sittig et al., 2020) ³⁾ Mittelwert über 35 Versuche; Anpassung von CN an gemittelte Runoffdaten ist wegen der Nichtlinearität des CN-Ansatzes nur valide, wenn die Regenmenge in allen Versuchen annähernd gleich war ⁴⁾ Mittelwert der CN über trockenen und feuchten Boden

Tabelle 22: Gemessener Oberflächenabfluss aus Goffart et al. (2013), summiert über die gesamte Anbauperiode in der Kartoffel. Quelle: Sittig et al. (2020)

Jahr	Standort	saisonaler Niederschlag mm	Oberflächenabfluss Kontrolle mm	Oberflächenabfluss Querdamm mm	Runoff- Koeffizient Kontrolle (%)1)	Runoff- Koeffizient Querdamm (%)1)
2009	Baisy- Thy	266	18,4	0,3	6,92	0,11
2009	Nodebais	189	13	0,6	6,88	0,32
2009	Saint- Aubin	111	14,9	7	13,42	6,31
2010	Baisy- Thy ²⁾	377	2	1,4	0,53	0,37
2010	Vieux- Genappe	394	4,5	1,1	1,14	0,28
2010	Gemblou	496	17,8	4,9	3,59	0,99

¹⁾ Verhältnis von Oberflächenabfluss zu Niederschlag

Tabelle 23: Gemessener Oberflächenabfluss in Mais aus Sui et al. (2016), summiert über jeweils einen Versuchsmonat (Querdamm ähnelt dem in der Kartoffel)

Monat	Niederschlag (mm)	Runoff Kontrolle (mm)	Runoff- Querdämme (%) ²⁾	Runoff- Koeffizient Kontrolle (%) ¹⁾	Runoff- Koeffizient Querdamm (%) ¹⁾	Hangneigung (%)
Jun-12	121	23	9,1	0,19	0,08	5
Jul-12	211	80	30,4	0,38	0,14	5
Aug- 12	156	38	14,5	0,24	0,09	5
Jun-13	100	16	6,1	0,16	0,06	7
Jul-13	181	70	24,1	0,39	0,13	7
Aug- 13	99	15	5,7	0,16	0,06	7

¹⁾ Verhältnis von Oberflächenabfluss zu Niederschlag

Werte in Klammern gelten fuer die Versuche im Jahr 2013.

²⁾ Boden wurde dekompaktiert

²⁾ Mittelwert über alle drei Varianten

Tabelle 24: Gemessener Runoff aus Sui et al. (2016) und angepasste Curve Number für vier einzelne Events und drei Querdamm-Varianten Versuchsjahr 2012)

Datum	Niederschl ag (mm)	Runoff Kontrolle (mm)	Runoff bei 65 (53) ¹ cm Länge (mm)	Runoff bei 75 (63) ¹ cm Länge (mm)	Runoff bei 85 (73) ¹ cm Länge (mm)	CN Kontrolle (mm)	CN bei 65 (53) ¹ cm Länge	CN bei 75 (63) ¹ cm Länge	CN bei 85 (73) ¹ cm Länge	Mittlere CN bei Kontrolle	Mittlere CN bei Querdamm	Differenz
02.08.2012	16,9	1,60	0,55	0,53	0,72	86	82	82	83	86	82	4
19.08.2012	43,1	2,67	0,52	0,44	0,58	68	60	60	61	68	60	8
13.07.2013	5,29	1,68	0,32	0,28	0,35	98	95	94	95	98	94	3
16.08.2013	68,0	12,9	3,87	3,61	5,04	69	57	56	59	69	57	12
Mittelwert	1. 6	1										7

¹ Werte in Klammern gelten für Versuche in 2013.

Tabelle 25: Berechnete Curve Numbers in Abhängigkeit vom Bewässerungsereignis für Keshavarz et al. (2020)

Zufluss L s ⁻¹	Variante	Ereignis 1	Ereignis 2	Ereignis 3	Ereignis 4	Mittelwert	Reduktion
0,6	Querdämme mit 10 m Abstand	49	61	73	73	64	9
0,6	Querdämme mit 20 m Abstand	56	64	77	77	68	7
0,9	Kontrolle	73	81	84	80	80	-
0,9	Querdämme mit 10 m Abstand	55	67	74	75	68	12
0,9	Querdämme mit 20 m Abstand	64	71	77	74	71	9
	Mittelwert						9

Tabelle 26: Effekt von Querdamm auf Runoff, Bodenabtrag und berechnete Curve Number bei wendender Bodenbearbeitung und Streifensaat (Truman und Nuti, 2010)

Standort	Variante ¹⁾	sim. Niederschlag mm	Oberflächen- abfluss mm	Runoff- Koeffizient %	Bodenabtrag g m ⁻²	CN
Tifton loamy sand (2008)	CT, ohne Querdämme	54	18,4	34	199,5	82
Tifton loamy sand (2008)	CT, mit Querdämmen	51	13,8	27	123,3	79
Tifton loamy sand (2008)	ST, ohne Querdämme	53	3,7	7	29,3	64
Tifton loamy sand (2008)	ST, mit Querdämmen	55	3,9	7	22,2	63
Faceville loamy sand (2009)	CT, ohne Querdämme	52	14,6	28	260,5	80
Faceville loamy sand (2009)	CT, mit Querdämmen	51	8,7	17	92,0	74
Faceville loamy sand (2009)	ST, ohne Querdämme	49	7,4	15	45,7	73
Faceville loamy sand (2009)	ST, mit Querdämmen	48	3,8	8	46,3	68
Mittel über beide Standorte	CT, ohne Querdämme			31	230,0	81
Mittel über beide Standorte	CT, mit Querdämmen			22	107,7	76
Mittel über beide Standorte	ST, ohne Querdämme			11	37,5	69
Mittel über beide Standorte	ST, mit Querdämmen			8	34,3	66
	Mittel CT			27	168,8	79
	Mittel ST			9	35,9	67
	Mittel ohne Querdämme			21	133,8	75
	Mittel mit Querdämmen			15	71,0	71

CT = konventionelle Bodenbearbeitung; ST = Streifensaat (strip tillage)

Runoffkoeffizient = Runoffvolumen / Niederschlagsvolumen

Tabelle 27: Gemessene Runoff-Koeffizienten von verschiedenen Beregnungs- und Bodenbearbeitungssystemen. Quelle: Silva (2017; Tabelle 1, vereinfacht)

Studie	Bodentextur (USDA)	Hangneigung	Beregnungs- menge mm	Runoff- Koeffizient % konventionell	Art der verwendeten Micro- depressionen	Runoff- Koeffizient % mit Maßnahme
Busch and Kincaid (1987)	sandy loam	4-6	n.a.	14	Reservoirs	<2
Busch and Kincaid (1987)	sand	12	n.a.	15	Reservoirs	2
Busch and Kincaid (1987)	sand	0	n.a.	7	Reservoirs	<1
Busch and Kincaid (1987)	silt loam	1	n.a.	12	Reservoirs	2
Busch and Kincaid (1987)	silt loam	8	n.a.	20	Reservoirs	17
Kincaid et al. (1990)	sandy and silt loam	0,5-12	7- 10	13,9	Reservoirs	3,7
Kincaid et al. (1990)	sandy and silt loam	1-6,4	7- 10	16	Reservoirs	5
Kincaid et al. (1990)	sandy and silt loam	0,5-4	7- 10	7,8	Reservoirs	0
Kincaid et al. (1990)	sandy and silt loam	5,5-5,5	7- 10	23	Reservoirs	4,5
Hasheminia (1994)	silt loam	0,3-1,0	10	13,3	Reservoirs	0,4
Hasheminia (1994)	silt loam	0,3-1,0	10	8	Reservoirs	0,2
Hasheminia (1994)	silt loam	0,2	10	10	Reservoirs	0,1
Schneider and Howell (2000)	clay loam	0,25	25	52	Becken	22
Silva et al. (2010)	sandy loam	13	6,3-8,1	11,3	Becken	0,9

B.3 Reduktion des Bodenabtrags (Erosion) durch Querdämme

Der gemessene Bodenabtrag für die von Sittig et al. (2020) untersuchten Studien für Kartoffeln ist in Tabelle 28 bis Tabelle 30 dargestellt.

Tabelle 28: Gemessener Bodenabtrag in den von Sittig et al. (2020) untersuchten Studien für Kartoffeln bei einer Hangneigung von >3 % und einem sandigen Lehm (Originalstelle Olivier et al. 2014)

Ereignis Datum	Niederschlag (mm)	Bodenabtrag (t ha ⁻¹) Kontrolle	Bodenabtrag (t ha ⁻¹) Querdämme	Reduktion %
18.05.2011	40,0	0	0	n.a.
25.05.2011	15,0	0	0	n.a.
01.06.2011	8,9	0	0	n.a.
09.06.2011	30,0	1,902	0,022	98,8
15.06.2011	8,0	0,001	0,001	0,0
20.06.2011	16,0	0,44	0,008	98,2
23.06.2011	6,1	0	0	n.a.
29.06.2011	36,0	2,074	0,19	90,8
01.07.2011	5,1	0,145	0,003	97,9
08.07.2011	2,5	-	-	n.a.
12.07.2011	0,9	-	-	n.a.
19.07.2011	41,0	0,062	0,002	96,8
26.07.2011	20,0	0,03	0,001	96,7
04.08.2011	7,5	0	0	n.a.
09.08.2011	19,0	0,019	0	100,0
16.08.2011	37,0	0,29	0,013	95,5
19.08.2011	40,0	1,427	0,87	39,0
24.08.2011	33,0	0,6	0,522	13,0
30.08.2011	15,0	2,041	1,412	30,8
total	381	9,031	3,044	66,3

Tabelle 29: Gemessener Bodenabtrag in den von Sittig et al. (2020) untersuchten Studien für Kartoffeln bei Hangneigungen <3 % und >3 % und einem Loessboden (Originalstelle Goffart et al. (2013))

Standort und Jahr	Niederschlag (mm)	Bodenabtrag (t ha ⁻¹) Kontrolle	Bodenabtrag (t ha ⁻¹) Querdämme	Reduktion %
Baisy-Thy, 2009	266	1,712	0,003	99,8
Nodebais, 2009	189	3,482	0,022	99,4
Saint-Aubin, 2009	111	1,415	0,588	58,4
Baisy-Thy, 2010 1)	377	0,053	0,06	-13,2
Vieux-Genappe, 2010	394	0,755	0,034	95,5
Gemblou, 2010	496	3,342	0,368	89,0

¹⁾ Boden wurde dekompaktiert

Tabelle 30: Gemessener Bodenabtrag in den von Sittig et al. (2020) untersuchten Studien für Kartoffeln bei Hangneigungen 2-10 % (Aurbacher et al. (2010))

Niederschlag	Bodenabtrag (t ha ⁻¹)	Bodenabtrag (t ha ⁻¹)	Reduktion
(mm)	Kontrolle	Querdämme	%
68	6,4	0,2	96,9

In der Studie von Sui et al. (2016) reduzierten die Querdämme den monatlichen Bodenabtrag um 90-99 % (Tabelle 31).

Tabelle 31: Gemessener Bodenabtrag aus Sui et al. (2016), summiert über jeweils einen Versuchsmonat

Monat	Niederschlag mm	Bodenabtrag (t ha ⁻ ¹) Kontrolle	Bodenabtrag (t ha ⁻¹) Querdämme	Reduktion %	Hangneigung %
Jun-12	121	214	4	98,1	5
Jul-12	211	1504	144	90,4	5
Aug-12	156	329	5	98,4	5
Jun-13	100	185	3	98,6	7
Jul-13	181	1485	127	91,5	7
Aug-13	99	170	2	98,6	7

¹⁾ Mittelwert über alle drei Varianten

C Anhang: Detailergebnisse zu der quantitativen Auswertung

In diesem Anhang werden weitere, detaillierte Ergebnisse zu der quantitativen Auswertung in Kapitel 3 zusammengestellt. Zu Beginn werden verschiedene Fachbegriffe zu den verschiedenen Verfahren, wie sie in diesem Bericht verwendet werden, zusammengestellt (siehe Tabelle 32). Die sich anschließenden Ergebnisse sind wie folgt gegliedert:

- Anhang 3.1 Zusätzliche Tabellen und Abbildungen aus der Auswertung für VFS
- Anhang 3.2 Weitere Ergebnisse der Auswertung der Plotdaten von Maetens et al. 2012
- ► Anhang 3.3 Ergebnisse der Auswertung von Erlach (2005) als Boxplots
- ▶ Anhang 3.4 Boxplots aus der Auswertung für Dönges (2012) & Fawcett et al. (1994)

Tabelle 32: Fachbegriffe für Maßnahmen zur Runoff- und Erosionsminderung durch A: Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren, B: Fruchtfolgegestaltung und Bodenbedeckung und C: Anbau- und Applikationstechnik wie in diesem Bericht verwendet

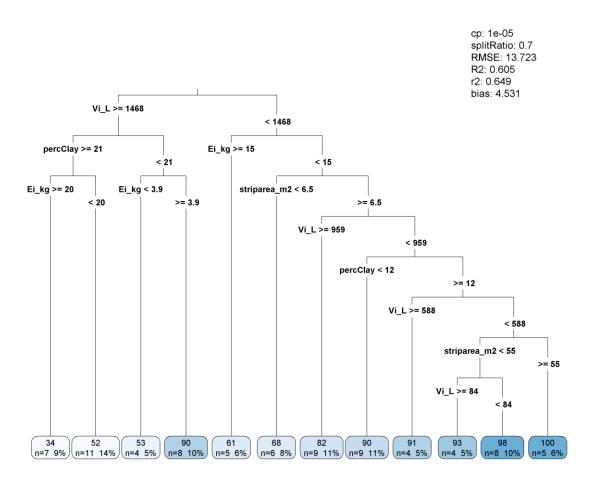
Maßnahme	Kategorie		Fachausdruck (v.a. englischsprachige Literatur)	Anmerkung/kurze Beschreibung/ggf. Verweis auf Tabelle im Anhang
Direktsaat	А	Verzicht auf Bodenbearbeitung	no till	Keine Bearbeitung/Störung des Oberbodens Saat in den von der Vorfrucht hinterlassenen Boden
Mulchsaat	A	Konservierende Bodenbearbeitung	mulch tillage	Saaten in Stroh- und Zwischenfruchtreste
Streifensaat	A	Konservierende Bodenbearbeitung	strip till	
Dammsaat	A	Konservierende Bodenbearbeitung	ridge till	Anbau von Nutzpflanzen auf vorgeformten Erhöhungen im Wechsel mit Furchen, die durch Pflanzenrückstände geschützt sind
Pflügen ohne Saatbettbearbeitung	A		till plant	Pflügen mit anschließender Einsaat ohne sekundäre Bodenbearbeitung (d.h. ohne Saatbettbereitung), Diese Maßnahme fehlt in Anhang 1
Grubber	A	Konservierende Bodenbearbeitung	chisel	Flachlockerndes nicht-wendendes Bodenbearbeitungswerkzeug
Scheibenegge	А	Konservierende Bodenbearbeitung	disk	Flachlockerndes nicht-wendendes Bodenbearbeitungswerkzeug
Zwischenfrucht	В		cover crop	meist Sommerzwischenfrucht welche über den Winter abfriert
Mulchbedeckung	В		"mulching"	Bedeckung des Bodens mit mechanisch zerkleinerter Zwischenfrucht

TEXTE Teilvorhaben 1:
Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln – Abschlussbericht

Maßnahme	Kategorie		Fachausdruck (v.a. englischsprachige Literatur)	Anmerkung/kurze Beschreibung/ggf. Verweis auf Tabelle im Anhang
(grasbewachsener) Filterstreifen	В		Vegetated Filter Strips, VFS	grasbewachsener Filterstreifen am Feldrand (edge of field)
Streifenanbau	В		Strip cropping	Streifen von dicht gesäten Feldfrüchten wechseln mit Streifen von in Reihe angebauten Feldfrüchten ab
Konturbearbeitung	С	Konturbearbeitung	contour cropping	Konturanbau (im Komplex Konturbearbeitung)
Konturbearbeitung mit Pflug	С	Konturbearbeitung	contour tillage	Richtung der Bodenbearbeitung folgt den Höhenlinien
Streifenanbau mit Konturbearbeitung	С	Konturbearbeitung	strip cropping	Streifen werden parallel zum Hangverlauf gepflügt (contour tillage) Streifen von dicht gesäten Feldfrüchten wechseln mit Streifen von in Reihe angebauten Feldfrüchten ab
Bandapplikation/Reihenbehandlung	С		band application	Verminderter Wirkstoffeinsatz, da nur Streifen mit der Kultur in behandelt wird
Anlage von Querdämmen auf dem Feld	С		micro-dams	

C.1 Zusätzliche Tabellen und Abbildungen aus der Auswertung für VFS

Abbildung 28: Entscheidungsbaum für den besten CART-Run für ΔQ, Variante 3 (ohne Q_i; V_i und E_i nicht normalisiert)



Der Entscheidungsbaum ist identisch zu dem in Abbildung 26, mit Ausnahme des Splits ganz rechts, wo statt Qi_L die Variable striparea_m2 verwendet wird.

TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Abbildung 29: Scatterplot (gemessene vs. vorhergesagte Werte) für den besten CART-Run für ΔQ , Variante 3 (ohne Q_i ; V_i und E_i nicht normalisiert)

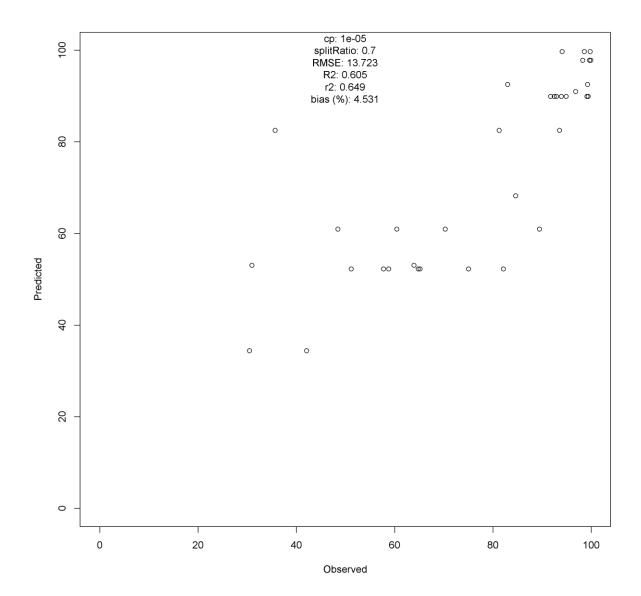


Abbildung 30: Entscheidungsbaum für den besten CART-Run für ΔP, Variante 1

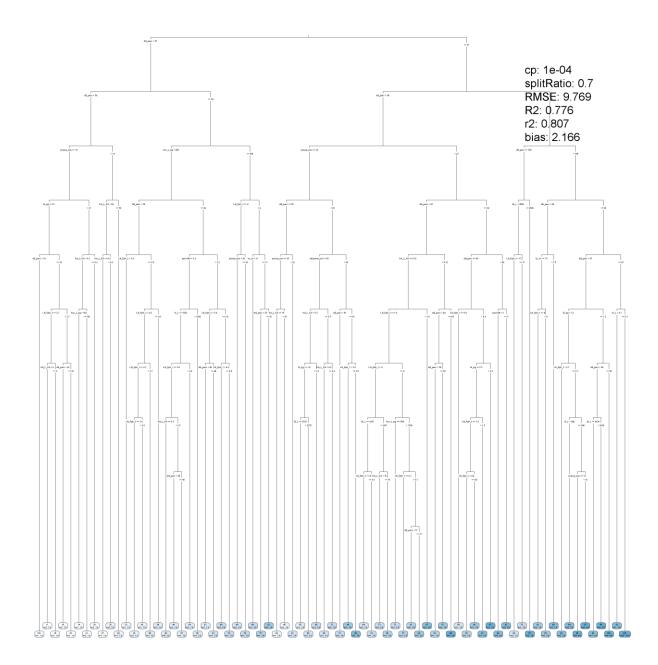


Abbildung 31: Scatterplot für die relative Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL)

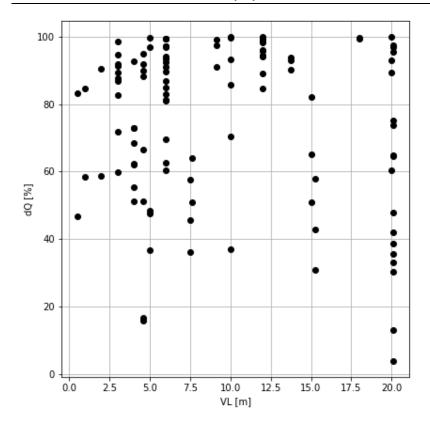
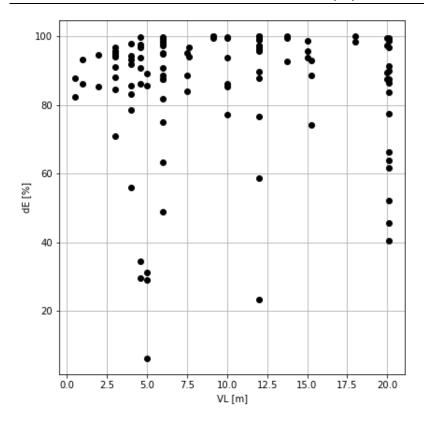


Abbildung 32: Scatterplot für die relative Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔE als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL)



TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber

Abbildung 33: Scatterplot für die relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als Funktion der Pufferstreifenbreite (VL)

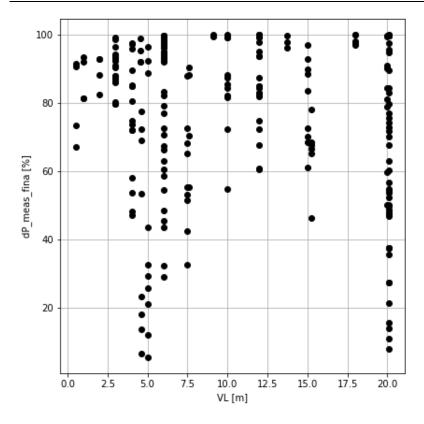
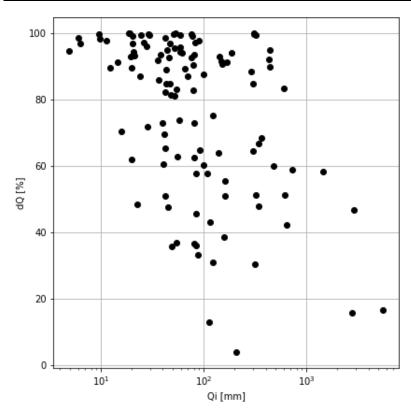


Abbildung 34: Scatterplot für relative die Reduktion des Gesamtzuflusses ΔQ als Funktion des auf die VFS-Fläche normierten Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag)



TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber

Abbildung 35: Scatterplot für die relative Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔE als Funktion des auf die VFS-Fläche normierten Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag)

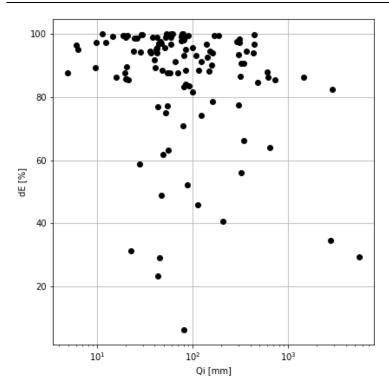


Abbildung 36: Scatterplot für die relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als Funktion des auf die VFS-Fläche normierten Gesamtzuflusses Qi_mm (Run-on + Niederschlag)

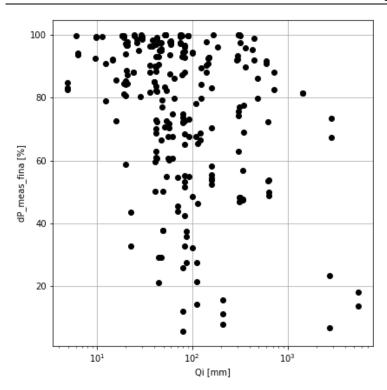
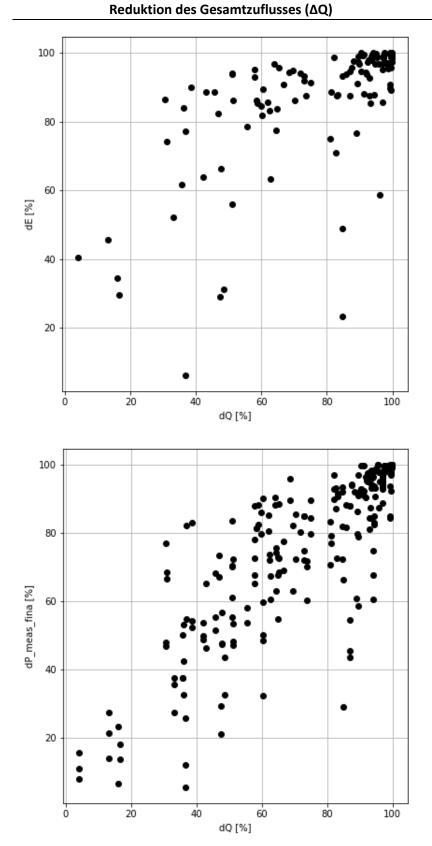


Abbildung 37: Scatterplot für a) für die Reduktion der Fracht des erodierten Bodenmaterials ΔE und b) für die relative Reduktion der Wirkstofffracht ΔP als Funktion der relativen



TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Tabelle 33: Übersicht über die besten multiplen Regressionen

Ziel- varia- ble va	Anzahl unab- hängig-	Varian-	bestes		Regressionsparameter ²⁾						Koeffizient- en	
	er Varia- blen	te R ^{2 2)}	Regressionsgleichung des besten Fits 1)	Achsen- abschnitt	a	b	С	d	e	physikalisc h sinnvol?	Grund	
		1	0,463	$\Delta Q_perc \sim I(1/sqrt(Qi_m3)) + log(Ei_kg) + log(VL_m) + log(striparea_m2)$	26,976	13,378	-1,180	-17,189	22,365		Nein	
	4	2	0,465	$\Delta Q_{perc} \sim I(1/percClay)+log(VL_m)+sqrt(striparea_m2)+log(Qi_m3_m2)$	53,876	-244,523	-21,138	10,706	-7,697		Nein	
	4	3	0,463	$\Delta Q_perc \sim I(1/sqrt(Qi_m3)) + log(Ei_kg) + log(VL_m) + log(striparea_m2)$	26,976	13,378	-1,180	-17,189	22,365		Nein	ΔQ sollte
ΔQ		4	0,465	$\Delta Q_perc \sim I(1/percClay) + log(VL_m) + sqrt(striparea_m2) + log(Qi_m3_m2)$	53,876	-244,523	-21,138	10,706	-7,697		Nein	nicht mit
ΔQ		1	0,498	$\Delta Q_perc \sim I(1/sqrt(Qi_m3)) + log(Ei_kg) + I(1/percClay) + log(VL_m) + log(striparea_m2)$	28,267	12,777	-1,236	-275,932	-22,047	29,747	Nein	zunehmende m VL abnehmen
	5	2	0,493	$\Delta Q_perc \sim log(Ei_kg) + l(1/percClay) + log(VL_m) + log(striparea_m2) + l(1/sqrt(Qi_m3_m2))$	42,473	-1,300	-270,642	-21,334	24,551	2,729	Nein	
	5	3	0,498	$\Delta Q_perc \sim I(1/sqrt(Qi_m3)) + log(Ei_kg) + I(1/percClay) + log(VL_m) + log(striparea_m2)$	28,267	12,777	-1,236	-275,932	-22,047	29,747	Nein	
		4	0,493	$\Delta Q_perc \sim log(Ei_kg) + l(1/percClay) + log(VL_m) + log(striparea_m2) + l(1/sqrt(Qi_m3_m2))$	42,473	-1,300	-270,642	-21,334	24,551	2,729	Nein	
		1	0,436	$log(\Delta Q_perc) \sim l(1/sqrt(Qi_m3)) + l(1/percClay) + log(VL_m) + log(striparea_m2)$	3,258	0,275	-6,111	-0,513	0,654		Nein	ΔQ sollte nicht mit zunehmende m VL abnehmen
	4	2	0,43	$log(\Delta Q_perc) \sim l(1/percClay) + log(VL_m) + sqrt(striparea_m2) + sqrt(Qi_m3_m2)$	4,606	-5,346	-0,454	0,197	-0,643		Nein	
	4	3	0,436	$log(\Delta Q_perc) \sim l(1/sqrt(Qi_m3)) + l(1/percClay) + log(VL_m) + log(striparea_m2)$	3,258	0,275	-6,111	-0,513	0,654		Nein	
1 (10)		4	0,43	$log(\Delta Q_perc) \sim l(1/percClay) + log(VL_m) + sqrt(striparea_m2) + sqrt(Qi_m3_m2)$	4,606	-5,346	-0,454	0,197	-0,643		Nein	
In(∆Q)		1	0,458	$log(\Delta Q_perc) \sim l(1/sqrt(Qi_m3)) + log(Ei_kg) + l(1/percClay) + log(VL_m) + log(striparea_m2)$	3,379	0,252	-0,019	-6,317	-0,492	0,614	Nein	
	_	2	0,456	$log(\Delta Q_perc) \sim log(Ei_kg) + l(1/percClay) + log(VL_m) + log(striparea_m2) + log(Qi_m3_m2)$	3,711	-0,021	-6,325	-0,473	0,472	-0,118	Nein	
	5	3	0,458	$log(\Delta Q_perc) \sim l(1/sqrt(Qi_m3)) + log(Ei_kg) + l(1/percClay) + log(VL_m) + log(striparea_m2)$	3,379	0,252	-0,019	-6,317	-0,492	0,614	Nein	
		4	0,456	$log(\Delta Q_perc) \sim log(Ei_kg) + l(1/percClay) + log(VL_m) + log(striparea_m2) + log(Qi_m3_m2)$	3,711	-0,021	-6,325	-0,473	0,472	-0,118	Nein	
		1e	0,475	$dE_perc \sim log(Qi_m3) + sqrt(\Delta Q_perc) + l(percClay*log(percClay)) + l(1/sqrt(striparea_m2))$	17,398	2,189	7,791	0,103	-34,024		Nein	ΔE sollte nicht mit Q _i zunehmen
	4	2e	0,474	$dE_perc \sim sqrt(\Delta Q_perc) + I(percClay*log(percClay)) + I(1/sqrt(striparea_m2)) + log(Qi_m3_m2)$	27,471	7,834	0,098	-47,034	2,243		Nein	
dE		1e	0,482	$dE_perc \sim log(Qi_m3) + sqrt(\Delta Q_perc) + l(percClay*log(percClay)) + l(1/VL_m) + l(1/sqrt(striparea_m2))$	23,257	1,863	7,345	0,101	8,318	-49,226	Nein	ΔE sollte
	5	2e	0,482	$ dE_perc \sim \\ sqrt(\Delta Q_perc) + l(percClay*log(percClay)) + l(1/VL_m) + l(1/sqrt(striparea_m2)) + log(Qi_m3_m2) $	32,086	7,371	0,097	8,703	-61,089	1,935	Nein	nicht mit Q _i and 1/VL zunehmen
		1e	0,349	$log(dE_perc) \sim log(Qi_m3) + sqrt(\Delta Q_perc) + l(percClay*log(percClay)) + l(1/sqrt(striparea_m2))$	3,252	0,046	0,130	0,002	-0,629		Nein	
In(dE)	4	2e	0,348	$log(dE_perc) \sim sqrt(\Delta Q_perc)+l(percClay*log(percClay))+log(striparea_m2)+log(Qi_m3_m2)$	2,800	0,128	0,002	0,140	0,039		Nein	ΔE sollte nicht mit Q _i zunehmen
	Е	1e	0,359	$\begin{split} & \log(\text{dE_perc}) \sim \\ & \log(\Omega _ \text{m3}) + \text{sqrt}(Ei_kg) + \text{sqrt}(\Delta Q_perc) + I(\text{percClay*}\log(\text{percClay})) + I(1/\text{sqrt}(\text{striparea}_m2)) \end{split}$	3,314	0,059	-0,012	0,125	0,002	-0,601	Nein	
	5	2e	0,358	$\label{logdef} $\log(dE_perc)^{\sim}$ $ \sqrt(Ei_kg) + \sqrt(\Delta Q_perc) + 1(percClay*log(percClay)) + 1(1/sqrt(striparea_m2)) + log(Qi_m3_m2) $$	3,590	-0,012	0,126	0,002	-0,955	0,061	Nein	2411011111011

¹⁾ Notation in R. Der Operator I () ist notwendig, damit / und * als mathematische Operatoren interpretiert werden.

²⁾ Für die logarithmischen Fits beziehen sich R² und die Regressionsparameter auf den logarithmischen Raum.

C.2 Weitere Ergebnisse der Auswertung der Plotdaten von Maetens et al. 2012

Abbildung 38: Boxplot für das Verhältnis des jährlichen Runoff- Volumens mit Maßnahmen zum Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff Ratio, RR) im Weinbau als Funktion der Variable category_UBA

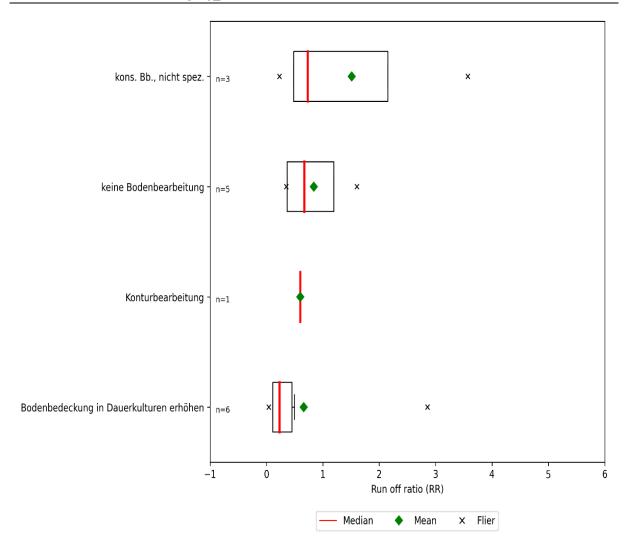


Abbildung 39: Boxplot für das Verhältnis des Bodenabtrags s mit Maßnahmen zum Bodenabtrag ohne Maßnahme (Soil Loss Ratio, RR) im Weinbau als Funktion der Variable category_UBA

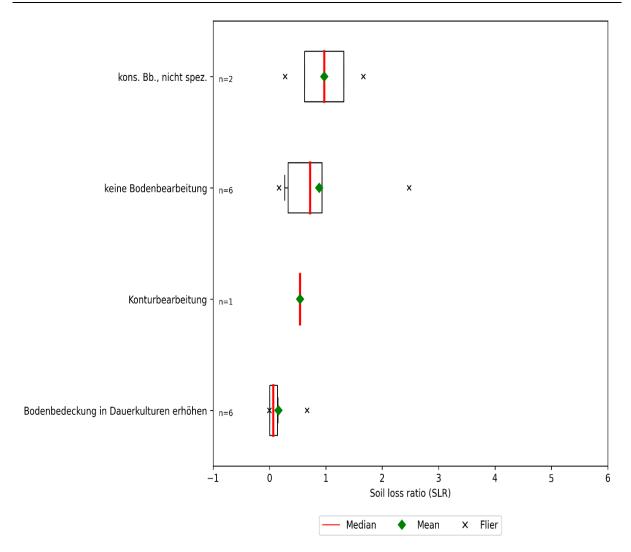


Abbildung 40: Boxplot für das Verhältnis des jährlichen Runoff- Volumens mit Maßnahmen zum Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff Ratio, RR) im Olivenbau als Funktion der Variable category_UBA

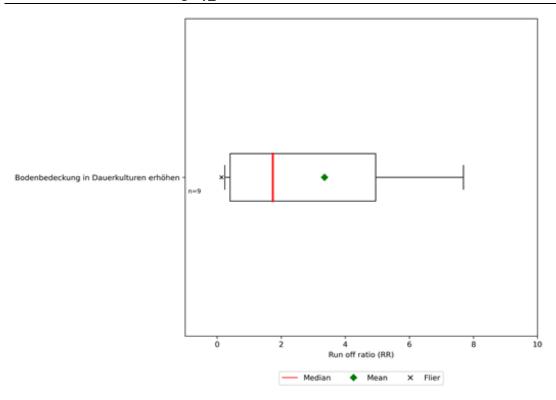


Abbildung 41: Boxplot für das Verhältnis des jährlichen Bodenabtrags mit Maßnahmen zum Bodenabtrag ohne Maßnahme (Soil Loss Ratio, RR) im Olivenbau als Funktion der Variable category_UBA

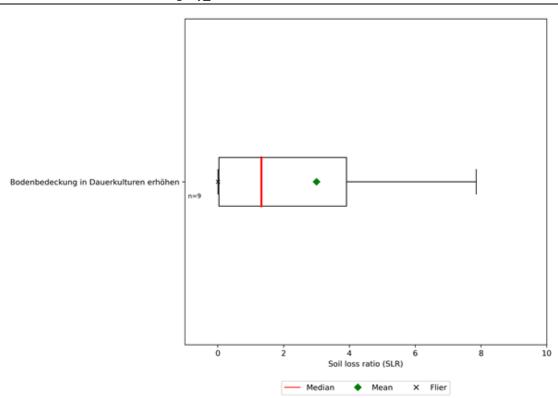


Abbildung 42: Scatterplot für annual Runoff (Ra) und annual Soil Loss (SLa) im Weinbau für die Maßnahmen Konturbearbeitung (oben) und "konservierende Bodenbearbeitung, nicht spezifiziert" (unten) (category_UBA)

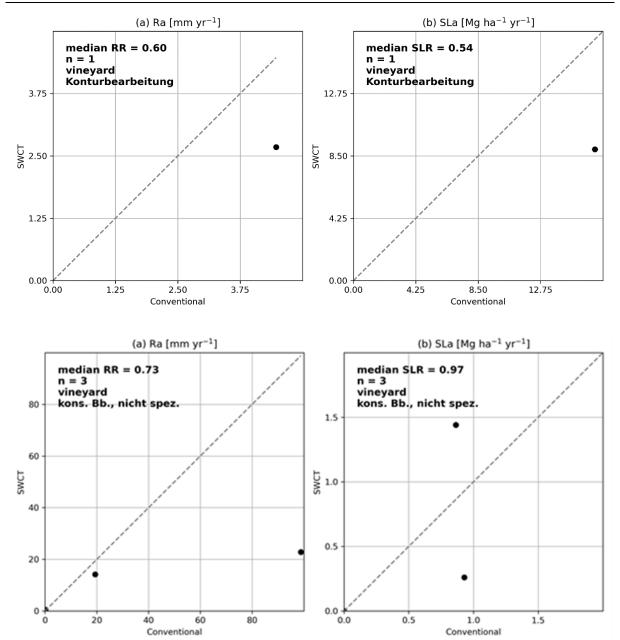
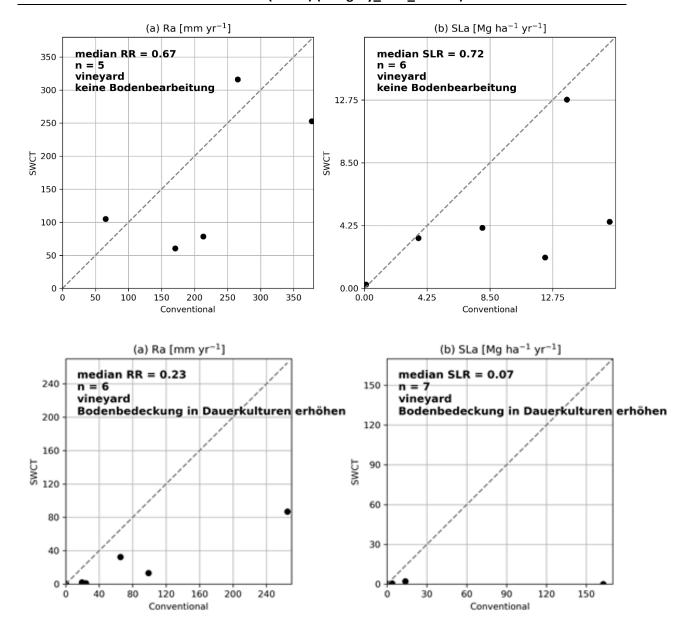


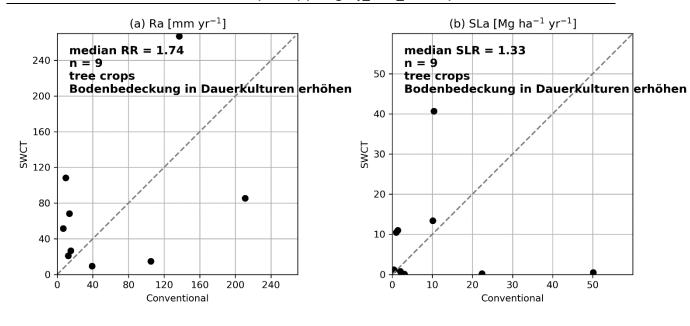
Abbildung 43: Scatterplot für annual Runoff (Ra) und annual Soil Loss (SLa) im Weinbau für die Maßnahmen "keine Bodenbearbeitung (oben) und "Bodenbedeckung in Dauerkulturen erhöhen" (unten) (category_UBA_revised)



TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1:

Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber Pflanzenschutzmitteln

Abbildung 44: Scatterplot für annual Runoff (Ra) und annual Soil Loss (SLa) im Olivenbau für die Maßnahmen "keine Bodenbearbeitung (oben) und "Bodenbedeckung in Dauerkulturen erhöhen" (unten) (category_UBA_revised)



184

Tabelle 34: Verteilungen des Verhältnisses des jährlichen Runoff- Volumens mit Maßnahmen zum Runoff-Volumen ohne Maßnahme (Runoff Ratio, RR) und des Verhältnisses des jährlichen Bodenabtrags mit Maßnahmen zum Bodenabtrag ohne Maßnahme (Soil Loss Ratio, SLR) fuer verschiedene Kombinationen aus Landnutzungstyp und Maßnahmentyp (category_UBA)

	9 71						,, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,								
land use type	category_UBA_revised_FINAL_swct	RR	RR	RR	RR	RR	RR	RR	SLR	SLR	SLR	SLR	SLR	SLR	SLR
		n	mean	min	5 %	50 %	95 %	max	n	mean	min	5 %	50 %	95 %	max
cropland	Direktsaat	49	1,194	0,000	0,018	0,783	1,678	20,750	50	0,663	0,000	0,030	0,392	1,194	7,277
cropland	Konturbearbeitung	29	0,681	0,000	0,000	0,383	2,022	5,039	28	1,013	0,000	0,000	0,312	6,047	10,30
cropland	Mulchsaat	62	1,927	0,000	0,073	1,032	4,455	45,750	62	1,150	0,002	0,031	0,736	4,184	5,976
cropland	Streifensaat	8	0,796	0,297	0,349	0,881	1,246	1,354	8	0,941	0,191	0,261	0,666	1,886	2,044
cropland	kons, Bb, nicht spez,	71	1,046	0,137	0,394	0,911	2,584	2,981	70	0,343	0,000	0,043	0,186	1,365	1,658
tree crops	Bodenbedeckung in Dauerkulturen erhöhen	9	3,355	0,141	0,181	1,743	9,900	11,375	9	3,005	0,010	0,010	1,327	9,443	10,50
vineyard	Bodenbedeckung in Dauerkulturen erhöhen	6	0,661	0,042	0,058	0,231	2,267	2,857	6	0,160	0,000	0,001	0,068	0,538	0,667
vineyard	keine Bodenbearbeitung	5	0,838	0,355	0,358	0,670	1,523	1,606	6	0,883	0,171	0,196	0,723	2,090	2,476
vineyard	Konturbearbeitung	1	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	1	0,544	0,544	0,544	0,544	0,544	0,544
vineyard	kons, Bb, nicht spez,	3	1,511	0,231	0,281	0,732	3,287	3,571	2	0,973	0,280	0,349	0,973	1,597	1,667

C.3 Ergebnisse der Auswertung von Erlach (2005) als Boxplots

Abbildung 45: Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen Oberflächenabflusses für die Pflugvariante

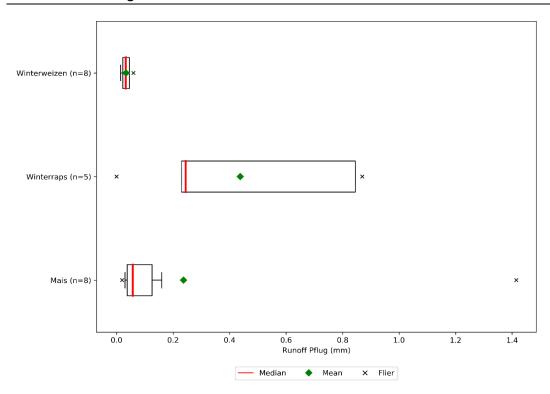
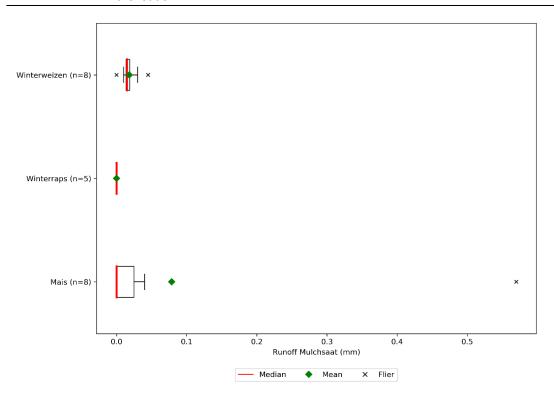


Abbildung 46: Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen Oberflächenabflusses für die Variante Mulchsaat



TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber

Abbildung 47: Boxplot des Verhältnisses des Oberflächenabflusses der Varianten Mulchsaat und Pflug nach Erlach (2005)

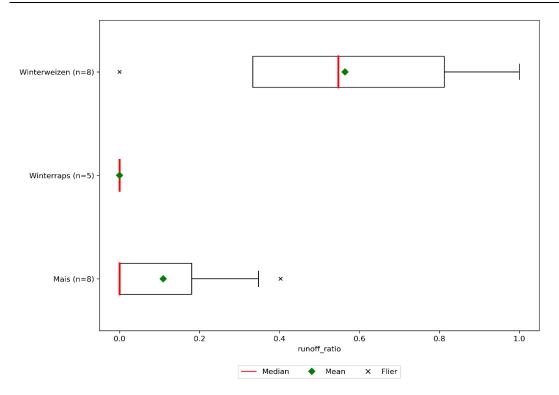


Abbildung 48: Boxplot der relativen Reduktion des Oberflächenabflusses durch die Variante Mulchsaat gegenüber der Pflugvariante nach Erlach (2005)

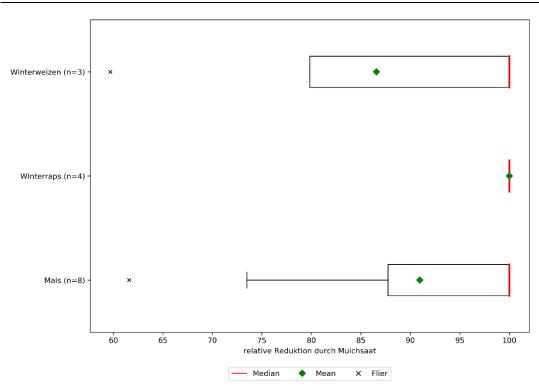


Abbildung 49: Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen Bodenabtrags für die Pflugvariante

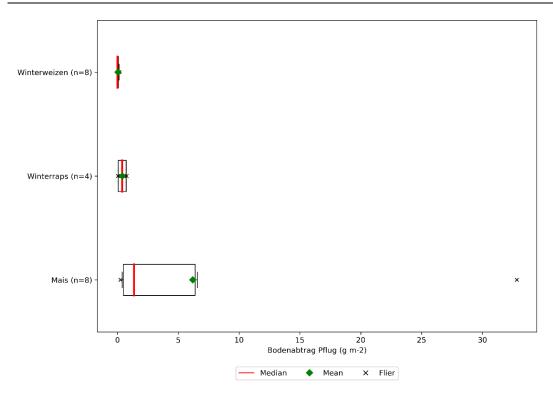
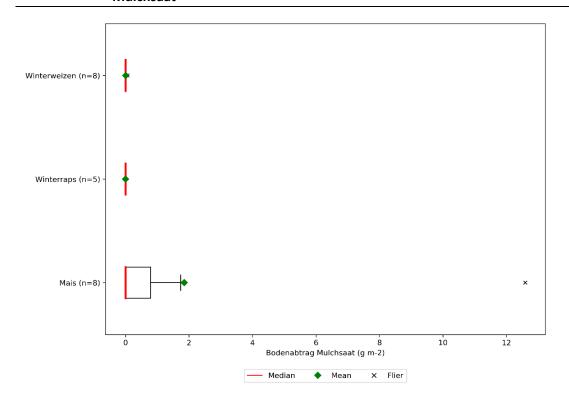


Abbildung 50: Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen Bodenabtrags für die Variante Mulchsaat



TEXTE Wie können Risikominderungsmaßnahmen in die Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel eingerechnet werden? – Teilvorhaben 1: Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verringerung der lokalen Umweltexposition von Gewässern gegenüber

Abbildung 51: Boxplot des Verhältnisses des Bodenabtrags der Varianten Mulchsaat und Pflug nach Erlach (2005)

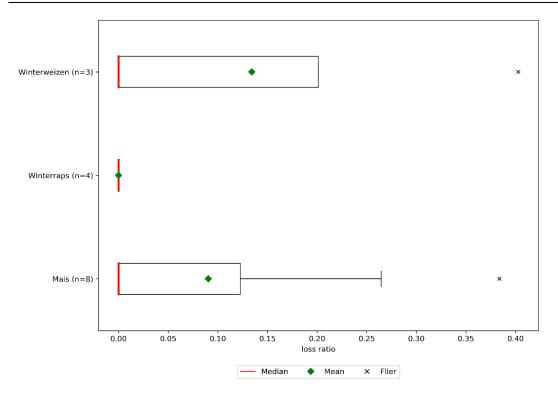


Abbildung 52: Boxplot der relativen Reduktion des Bodenabtrags durch die Variante Mulchsaat gegenüber der Pflugvariante nach Erlach (2005)

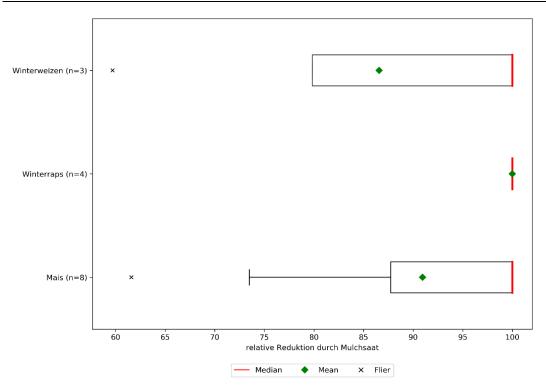


Abbildung 53: Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen PSM-Austrags für die Pflugvariante

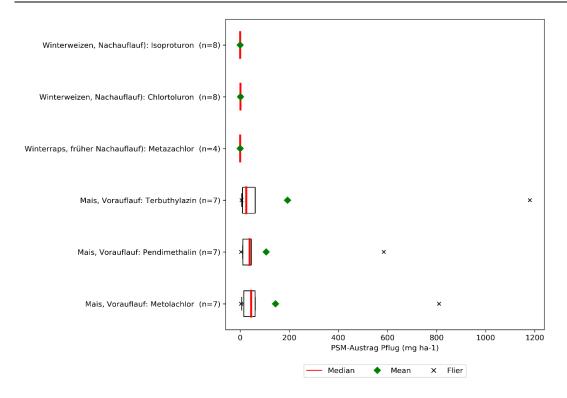


Abbildung 54: Boxplot des von Erlach (2005) gemessenen PSM-Austrags für die Variante Mulchsaat

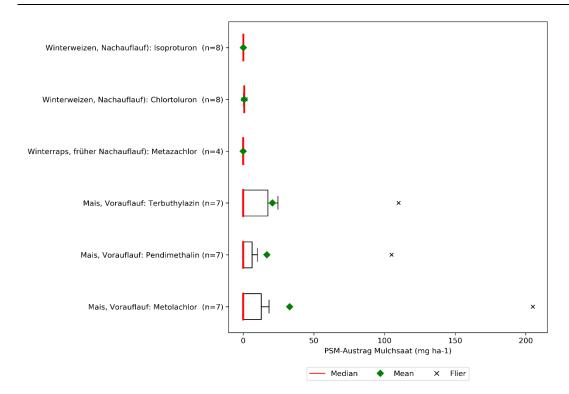


Abbildung 55: Boxplot des Verhältnisses des PSM-Austrags der Varianten Mulchsaat und Pflug nach Erlach (2005)

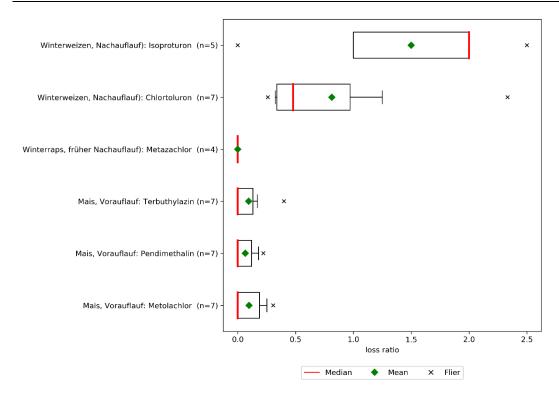
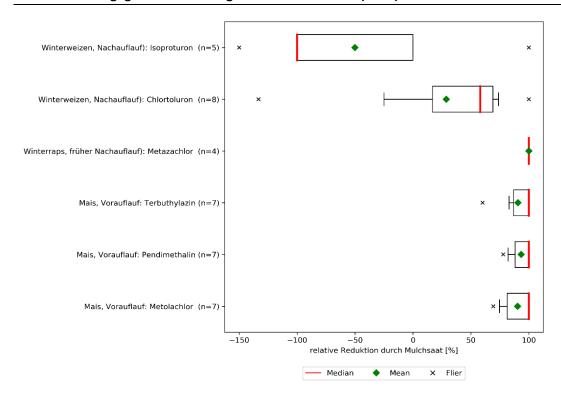


Abbildung 56: Boxplot der relativen Reduktion des PSM-Austrags durch die Variante Mulchsaat gegenüber der Pflugvariante nach Erlach (2005)



C.4 Boxplots aus der Auswertung für Dönges (2012) & Fawcett et al. (1994)

Abbildung 57: Boxplots der Wirkstoffaustragverhältnisse bei <u>künstlichen Niederschlägen</u> für Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)

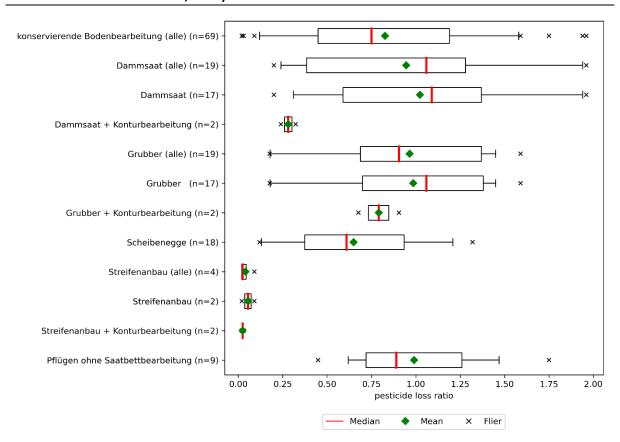


Abbildung 58: Boxplots der Wirkstoffaustragverhältnisse bei <u>natürlichen Niederschlägen</u> für Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)

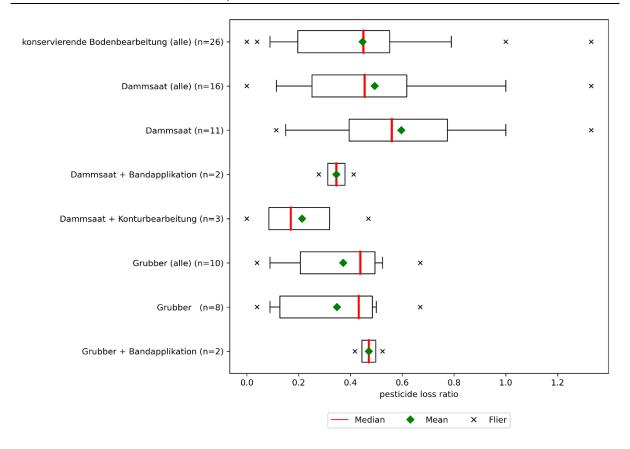


Abbildung 59: Boxplots der Wirkstoffaustragverhältnisse bei <u>künstlichen Niederschlägen</u> für Maßnahmen der Direktsaat (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)

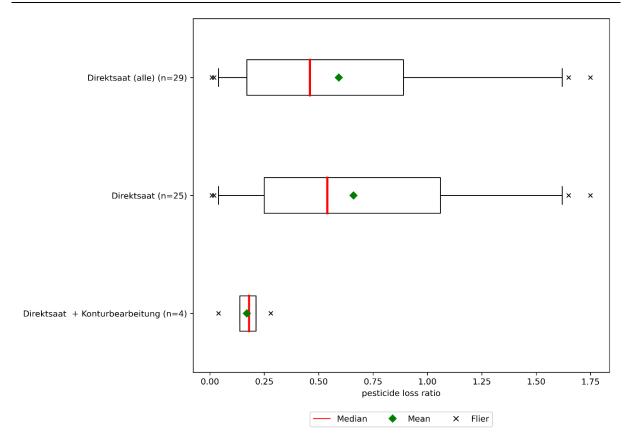


Abbildung 60: Boxplots der Wirkstoffaustragverhältnisse bei <u>natürlichen Niederschlägen</u> für Maßnahmen der Direktsaat (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)

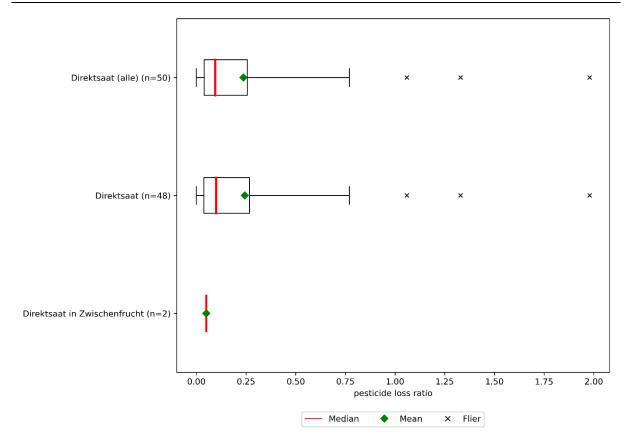


Abbildung 61: Boxplots der Wirkstoffaustragverhältnisse bei <u>künstlichen Niederschlägen</u> für Maßnahmen der Streifensaat (nach Dönges, 2012 & Fawcett et al., 1994)

