



**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

# Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen

## Ergebnisse einer Feldstudie



**Schriftenreihe**

8

2013

ISSN 1611-4159

## **Impressum**

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

Redaktion: Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz  
Lange Point 12, 85354 Freising-Weihenstephan  
E-Mail: [Agrarökologie@LfL.bayern.de](mailto:Agrarökologie@LfL.bayern.de)  
Telefon: 08161 71-3640

Fotos: Titelbild und Luftbilder: Wolfgang Bauer ([www.agroluftbild.de](http://www.agroluftbild.de));  
sonstige Fotos: Michael Kistler, Robert Brandhuber

1. Auflage: Oktober 2013

Druck: ES-Druck, 85356 Freising-Tüntenhausen

Schutzgebühr: 15,00 Euro



# **Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen**

## **Ergebnisse einer Feldstudie**

Bericht zum Forschungsvorhaben

„Evaluierung der Cross Compliance Bestimmungen zum  
Erosionsschutz in Bayern“

Michael Kistler (LfL)

Robert Brandhuber (LfL)

Dr. Harald Maier (DWD)



# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1</b>	<b>Zusammenfassung.....13</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung.....15</b>
2.1	Schutz vor Bodenerosion ..... 15
2.2	Cross Compliance Vorschriften zum Erosionsschutz ..... 15
2.3	Projektziele.....16
<b>3</b>	<b>Methodik .....16</b>
3.1	Untersuchungsgebiet .....16
3.2	Identifikation von Starkregeneignissen mit RADOLAN.....17
3.3	Identifikation von Gebieten mit Erosionsschäden .....19
3.4	Luftbildaufnahmen in Erosionsgebieten .....22
3.5	Vor-Ort-Beurteilung.....25
3.6	Datenbestand „Feldstücke und Bodenerosion“ .....27
3.6.1	Dokumentierte Parameter.....27
3.6.2	Erosionsauslösender Niederschlag .....28
3.6.3	Hangneigung .....28
3.6.4	Hanglänge.....28
3.6.5	ABAG-Faktoren und Tolerierbarer Bodenabtrag.....29
3.6.6	Formfaktor nach ESchV .....29
3.6.7	Konzentrierter Abfluss / Fremdwasserzufluss .....29
3.6.8	Direkter Gewässeranschluss.....30
3.6.9	On-Site- und Off-Site-Schäden .....31
3.6.10	Erosionsspuren im Feld.....32
3.6.11	Schadensbewertung .....33
3.6.12	Saatrichtung.....36
3.6.13	Erosionsschutzmaßnahmen .....37
3.6.14	Wirkung der Erosionsschutzmaßnahmen.....37
3.6.15	Grad der Bodenbedeckung .....37
3.7	Auswertung der erfassten Daten .....37
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....38</b>
4.1	Niederschläge .....38
4.1.1	Jährlichkeit der erosionsauslösenden Niederschläge .....38
4.1.2	Verlauf der Niederschlagsintensität innerhalb eines Ereignisses.....39
4.2	Von Erosion betroffene Kulturen.....41

4.3	Frühe Sommerkulturen.....	42
4.3.1	Sommergerste, Hafer.....	42
4.3.2	Ackerbohnen, Sojabohnen und Erbsen .....	43
4.3.3	Sonstige frühe Sommerkulturen.....	45
4.4	Mais .....	46
4.4.1	Maismulchsaat mit Saatbettbereitung .....	46
4.4.2	Maismulchsaat ohne Saatbettbereitung.....	49
4.4.3	KULAP-Mulchsaat bei Mais.....	52
4.4.4	Temporäre Grünstreifen in Maisfeldern: CC-Streifen .....	55
4.4.5	Sonstige temporäre Grünstreifen zum Erosionsschutz.....	57
4.4.6	Pflugverzicht vor Mais .....	58
4.4.7	Vergleich: CC-Streifen, Mulchsaat, Pflugverzicht.....	58
4.4.8	Bewirtschaftungsrichtung.....	59
4.4.9	Feldstücke unter 0,5 ha.....	61
4.4.10	Große Feldstücke.....	62
4.4.11	Besonders lange und schmale Feldstücke .....	64
4.4.12	Miststreifen.....	65
4.4.13	Wasserfurchen .....	67
4.4.14	Mais nach Klee grasumbruch.....	68
4.4.15	Mais in Engsaat .....	69
4.4.16	Silomais nach Ganzpflanzensilage.....	70
4.4.17	Einstufung der Mais-Feldstücke nach CC-Erosionsgefährdungsklassen.....	71
4.4.18	Hanglänge.....	72
4.4.19	ABAG-Bodenabtrag der Maisfelder .....	73
4.4.20	Überschreitung des ABAG-Toleranzwertes.....	74
4.4.21	Fahrspuren der Maissaat als Abflussbahnen .....	75
4.5	Kartoffeln .....	76
4.6	Zuckerrüben .....	77
4.7	Erosion im Sommer und Herbst .....	79
4.8	Erosion im Winter .....	80
4.8.1	Raue Pflugfurche.....	80
4.8.2	Spät gesäter Winterweizen .....	81
4.9	Abfluss bremsende Strukturen im Hang .....	82
4.9.1	Fremdwasserzufluss .....	82
4.9.2	Ranken, Hecken, Wege .....	83

4.9.3	Fruchtartenwechsel im Hang.....	85
4.10	Grünstreifen entlang von Gewässern .....	86
4.10.1	Grünstreifen zum Gewässer- und Bodenschutz (KULAP A35) .....	86
4.10.2	Grünland als Puffer .....	88
4.11	Nachwirkungen von Erosionsereignissen .....	90
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>92</b>
<b>6</b>	<b>Bildanhang .....</b>	<b>94</b>

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Mittlerer langjähriger Bodenabtrag je Hektar landwirtschaftlich genutzter Flächen der Gemeinden (Erosionsatlas Bayern, LfL-Internet)	17
Abb. 2: RADOLAN-Tagesniederschlag in Bayern am 31.05.2012, (DWD)	19
Abb. 3: RADOLAN-Tagesniederschlag am 31.05.2012, Gebiet Roding - Stallwang	20
Abb. 4: Maximaler Stundenniederschlag am 31.05.2012	20
Abb. 5: Maximaler 5-Minuten-Niederschlag am 31.05.2012	21
Abb. 6: Erosionsspuren fünf Tage nach einem Niederschlagsereignis, aufgenommen am 07.05.2012	22
Abb. 7: Erosionsgebiet mit Dokumentation von Luftbildaufnahmen	23
Abb. 8: Erosion auf einer Maisfläche, 09.06.2012	24
Abb. 9: Gebiete mit Luftbildaufnahmen in den Jahren 2011 und 2012	25
Abb. 10: Maisfläche mit schwach entwickeltem CC-Erosionsschutzstreifen, 18.05.2011	26
Abb. 11: Erosionsschutzstreifen, 06.06.2011	27
Abb. 12: Erosionsschaden im Maisfeld am Hangfuß, 06.06.2011	27
Abb. 13: Erosionsschaden und Erosionsschutzstreifen, 06.06.2011	27
Abb. 14: Konzentrierter Abfluss im Feld und Wasserzufluss in das unten angrenzende Feld, Mai 2012	30
Abb. 15: Chamb (Opf.) nach einem Erosionsereignis, 08.07.2012	31
Abb. 16: Iglbachstausee nach einem Erosionsereignis, 18.05.2011	31
Abb. 17: Bodenaustrag in Graben, Feldweg, Straße und Fließgewässer, 09.06.2012	32
Abb. 18: Erosionsrillen, 31.05.2012	32
Abb. 19: Erosionsrinnen, 13.07.2011	32
Abb. 20: Erosionsgräben, 19.07.2011	32
Abb. 21: Geringer Erosionsschaden, 18.05.2011	34
Abb. 22: Deutlicher Erosionsschaden, 25.05.2011	35
Abb. 23: Erheblicher Erosionsschaden, 26.05.2011	36
Abb. 24: Saat quer zum Hang	36
Abb. 25: Saat teilweise quer zum Hang	36
Abb. 26: Saat nicht quer zum Hang	36
Abb. 27: Anzahl der Feldstücke und Jährlichkeit der Niederschläge	38
Abb. 28: Jährlichkeit der erosionsauslösenden Niederschläge (Mai/Juni)	38
Abb. 29: Anzahl der Feldstücke nach Jährlichkeit der max. Stundenniederschläge und Erosionsschaden	39
Abb. 30: Jährlichkeit der max. Stundenniederschläge und Erosionsschaden	39
Abb. 31: Verlauf der Niederschlagsintensität bei zwei Mais-Feldstücken mit geringem und erheblichem Erosionsschaden	40
Abb. 32: Anteil der jeweiligen Kulturen auf den dokumentierten Feldstücken in Erosionsgebieten im Zeitraum Mai/Juni der Jahre 2011 und 2012	41
Abb. 33: Anzahl der Feldstücke nach Kultur und Erosionsschaden (Mai/Juni)	41
Abb. 34: Kulturen mit den anteiligen Erosionsschäden (Mai/Juni)	41
Abb. 35: Sommergerste mit Erosionsschaden, 10.05.2012	43
Abb. 36: Situation vor Ort am 08.05.2012	43
Abb. 37: Erbsenfläche mit geringen Erosionsschäden	44



Abb. 38:	Herbizidschaden in Erbsen durch Abschwemmung aus dem angrenzenden Maisfeld, 06.06.2012	44
Abb. 39:	Buchweizenfeld mit erheblichem Erosionsschaden, 26.05.2011	45
Abb. 40:	Buchweizenfeld aus obigem Luftbild am 16.06.2011	46
Abb. 41:	Mulchsaat mit Saatbettbereitung, geringe Erosionsschäden, 23.05.2012	47
Abb. 42:	Typische Mulchsaat mit Saatbettbereitung und geringer Bodenbedeckung, 03.06.2011	48
Abb. 43:	Mulchsaat mit Saatbettbereitung und hoher Bodenbedeckung, 23.05.2012	48
Abb. 44:	Anzahl der Feldstücke nach Bodenbedeckung und Erosionsschaden	48
Abb. 45:	Bodenbedeckung und Erosionsschaden	48
Abb. 46:	ZwischenfruchtMulch im Nachbarfeld, 29.04.2013	49
Abb. 47:	Mit SenfMulch verstopfter Durchlass, 29.04.2013	49
Abb. 48:	Maismulchsaat ohne Saatbettbereitung im Vergleich zu Zwiebeln und Mais ohne Erosionsschutz, 27.05.2012	50
Abb. 49:	Zwischenfrucht mit 100%iger Bodenbedeckung nach einem Starkregen, 29.04.2013	51
Abb. 50:	Mais nach Mulchsaat ohne Saatbettbereitung nach einem Starkregen, 19.06.2012	51
Abb. 51:	Anzahl der Feldstücke nach KULAP-Mulchsaat und Erosionsschaden (Maisflächen)	52
Abb. 52:	KULAP-Mulchsaat (Maisflächen) und Erosionsschaden	52
Abb. 53:	Anzahl der Feldstücke nach KULAP-Mulchsaat und Erosionsschaden (nur CC-Wasser 1 und 2)	54
Abb. 54:	KULAP-Mulchsaat (nur CC-Wasser 1 und 2) und Erosionsschaden	54
Abb. 55:	Deutliche Erosionsspuren trotz KULAP-Mulchsaat, 26.05.2011	54
Abb. 56:	Maisfläche mit Wildschweinschaden und mit eingesätem aber noch nicht aufgelaufenem CC-Streifen, 10.05.2012	55
Abb. 57:	Erosionsschutzstreifen, 18.05.2011	56
Abb. 58:	Streifen zum Erosionsschutz, nicht CC-konform, 10.05.2012	57
Abb. 59:	Pflugverzicht vor Mais, gute Bodenbedeckung, 04.06.2012	58
Abb. 60:	Pflugverzicht vor Mais, keine Bodenbedeckung, 25.07.2012	58
Abb. 61:	Luftbild einer Maisfläche ohne Erosionsschutzmaßnahme, 18.05.2011	59
Abb. 62:	Mais ohne Erosionsschutzmaßnahme, 31.05.2011	59
Abb. 63:	Anzahl der Feldstücke nach Erosionsschutzmaßnahme und Erosionsschaden	59
Abb. 64:	Erosionsschutzmaßnahmen und Erosionsschaden	59
Abb. 65:	Anzahl der Feldstücke nach Bewirtschaftungsrichtung und Erosionsschaden	60
Abb. 66:	Bewirtschaftungsrichtung und Erosionsschaden	60
Abb. 67:	Anzahl der Feldstücke nach Bewirtschaftungsrichtung und Erosionsschaden nur CC-Wasser 1 - Flächen	60
Abb. 68:	Bewirtschaftungsrichtung und Erosionsschaden, nur CC-Wasser 1-Flächen	60
Abb. 69:	Querbewirtschaftung in Verbindung mit Mulchsaat, 16.07.2012	61
Abb. 70:	Feldstück mit 0,41 Hektar und Erosionsspuren, 07.05.2012	62
Abb. 71:	Maisfläche mit ca. 36,8 Hektar, 18.05.2011	63
Abb. 72:	Anzahl der Feldstücke nach Größe und Schadensklasse	63
Abb. 73:	Feldstücksgröße und Erosionsschaden	63

Abb. 74:	Maisfeld (unten) mit Rückstufung von CC-Wasser 2 in Stufe 1 wegen ausgeprägter Länge und Breite, 03.06.2011	64
Abb. 75:	Miststreifen in Maisfeldern, 26.05.2011	65
Abb. 76:	Vergrößerung des Miststreifens von Abb. 75, 26.05.2011	66
Abb. 77:	Miststreifen in Nahansicht bei einer Vor-Ort-Beurteilung, 15.06.2011	66
Abb. 78:	Wasserfurche zum Erosionsschutz, 23.05.2011	67
Abb. 79:	Maisfeld mit Wasserfurchen, 26.05.2011	68
Abb. 80:	Mais nach Klee grasumbruch, 31.05.2011	69
Abb. 81:	Mais mit 40 cm Reihenabstand, 15.06.2012	70
Abb. 82:	Maisfelder mit früher und später Saat (Ganzpflanzensilage), 09.06.2012	71
Abb. 83:	Anzahl der Feldstücke nach K*S-Wert und Erosionsschaden	72
Abb. 84:	K*S-Wert und Erosionsschaden	72
Abb. 85:	Anzahl der Feldstücke nach Hanglänge und Erosionsschaden	72
Abb. 86:	Hanglänge und Erosionsschaden	72
Abb. 87:	Anzahl der Feldstücke nach K*S*L-Klasse und Erosionsschaden	73
Abb. 88:	K*S*L-Klasse und Erosionsschaden	73
Abb. 89:	Anzahl der Feldstücke nach ABAG-Bodenabtrag und Erosionsschaden	74
Abb. 90:	ABAG-Bodenabtrag und Erosionsschaden	74
Abb. 91:	Anzahl der Feldstücke nach ABAG-Toleranzwert und Erosionsschaden	74
Abb. 92:	ABAG-Toleranzwert und Erosionsschaden	74
Abb. 93:	Ausgeschwemmte Fahrspuren der Maisbestellung bei geringer Hanglänge	75
Abb. 94:	Ausgeschwemmte Fahrspuren der Maisbestellung, steiler Hang	75
Abb. 95:	Kartoffelfeld mit erheblichem Erosionsschaden, 09.06.2012	76
Abb. 96:	Blick auf das Kartoffelfeld aus obigem Luftbild im Bereich des Vorgewendes, 04.07.2012	77
Abb. 97:	Unterteiltes Feldstück in Mais (obere Bildhälfte) und Zuckerrüben (untere Bildhälfte), 27.05.2012	78
Abb. 98:	Mulchsaat mit Saatbettbereitung in Zuckerrüben, 29.06.2011	78
Abb. 99:	Erosion nach der Rapsaat, 16.09.2011	79
Abb. 100:	Erosionsschaden im Rapsfeld aus obigem Luftbild, 06.09.2011	80
Abb. 101:	Abflussbahn auf einem Feldstück mit rauer Winterfurche, 11.03.2013	81
Abb. 102:	Raue Pflugfurche im Hintergrund, vorne frische Maissaat ohne Erosionsschutz, 29.04.2013	81
Abb. 103:	Rinnenerosion auf spät gesättem Winterweizen, 13.04.2013	82
Abb. 104:	Erosion in den Fahrspuren der Sämaschine am Vorgewende, 13.04.2013	82
Abb. 105:	Maisfläche mit Wasserzufluss aus Getreideflächen, 10.06.2011	83
Abb. 106:	Wirkung eines Rankens, 26.08.2012	84
Abb. 107:	Überspülter Feldweg zwischen zwei Maisfeldern, 18.05.2011	85
Abb. 108:	Effekte von Fruchtartenwechsel im Hang, 10.06.2011	86
Abb. 109:	Grünstreifen zum Gewässer- und Bodenschutz (A35), 26.05.2011	87
Abb. 110:	Flach auslaufender Hang zum Gewässer mit KULAP-A35 Grünstreifen, 07.03.2013	88
Abb. 111:	Feldstück mit stärkerem Gefälle im KULAP-A35 Grünstreifen und Bodeneintrag ins Gewässer, 29.08.2011	88
Abb. 112:	Abschwemmung aus einem Hopfengarten, Anlandung in Klee gras und Grünland, 03.06.2011	89
Abb. 113:	Abschwemmung aus einem Maisfeld, Anlandung in eine gewässerbegleitende Wiese, 09.06.2012	89

Abb. 114: Maisfläche mit Erosion, 25.06.2010	90
Abb. 115: Getreide ein Jahr nach dem Erosionsereignis, 09.07.2011	90
Abb. 116: Mais mit CC-Erosionsstreifen und Erosion in der Tiefenlinie, 18.05.2011	90
Abb. 117: Getreide in der Abreife ein Jahr nach dem Erosionsereignis, 08.07.2012	90

## **Tabellenverzeichnis**

	Seite
Tab. 1: Erosionsbestimmende Faktoren der Maisfelder aus Abb. 31	40
Tab. 2: Daten zur Erosionsgefährdung der Felder von Abb. 48	51
Tab. 3: Mittlere Hangneigung und KULAP-Mulchsaat	53
Tab. 4: Mittlere Hanglänge und KULAP-Mulchsaat	53
Tab. 5: Bodenbedeckung und KULAP-Mulchsaat	53
Tab. 6: Informationen zu Abb. 111	88

## 1 Zusammenfassung

In den Jahren 2011 und 2012 wurden im bayerischen Tertiärhügelland und untergeordnet in weiteren Gebieten Bayerns Erosionsereignisse mit Hilfe von RADOLAN-Niederschlagsdaten identifiziert und umfassend u.a. mit eigens beauftragten Luftbildern dokumentiert. Für 4.240 Feldstücke mit Ackernutzung liegen umfangreiche erosionsrelevante Daten vor. In 1.952 Fällen sind es Feldstücke mit Maisanbau. Es wurden Auswertungen vorgenommen, wie weit Erosionsschutzmaßnahmen Wirkung zeigten und welche erosionsbestimmenden Faktoren unter welchen Bedingungen besonders zum Tragen kamen. Die Ergebnisse der Auswertungen gelten für die beiden Projektjahre und für das Projektgebiet.

Die wesentlichen Erkenntnisse sind folgende:

Die mit Abstand meisten Erosionsschäden gehen auf Maisanbau in Hanglagen zurück. Am häufigsten sind Erosionsschäden auf Maisfeldern ohne erkennbaren Erosionsschutz. Mais-Mulchsaat nach Zwischenfruchtanbau wird zwar häufig praktiziert, der Boden wird aber vor der Maissaat meist zu intensiv bearbeitet, so dass nur noch wenig Mulchmaterial auf der Bodenoberfläche verbleibt. Schutz vor Bodenerosion ist dann während der Starkregen im Mai/Juni nur mehr eingeschränkt vorhanden.

Maisfelder mit KULAP-Mulchsaat sind weniger stark von Erosionsschäden betroffen als Maisfelder ohne KULAP-Mulchsaat. Das Potenzial der Mulchsaat wird allerdings nicht ausgeschöpft. Die schützende Bodenbedeckung nach der Maissaat könnte viel höher sein, wenn auf eine intensive Bodenbearbeitung verzichtet und Gülle im Injektionsverfahren in den Boden gebracht würde.

Die CC-Verpflichtung, auf erosionsgefährdet eingestuften Feldstücken vor Mais und anderen Reihenkulturen Zwischenfrüchte einzusäen, drängt den Landwirt demnach zu einem ersten wichtigen Schritt. Um gut wirksamen Erosionsschutz zu erreichen, sind weitere freiwillige Schritte nötig, vor allem der Erhalt der Mulchdecke über die Maissaat hinaus.

Unter den häufig angetroffenen Bedingungen bei Maisanbau in Hanglage mit geringer Bodenbedeckung im Mai/Juni

- nahmen die Erosionsschäden mit zunehmender Hanglänge und Feldstücksgröße zu,
- war „quer zum Hang“ keine allein ausreichende Schutzmaßnahme,
- zeigte einmaliger Pflugverzicht vor Mais mangels Bodenbedeckung in vielen Fällen nicht die erwartete Erosionsschutzwirkung.

In Hanglagen angebaute Kartoffeln wurden im Projektgebiet nur in geringem Umfang dokumentiert, waren aber häufig von Erosionsschäden betroffen.

Bei frühen Sommerkulturen wurden nur bei sehr frühen Starkregenereignissen (bis Anfang Mai) Erosionsschäden festgestellt. Danach schützt die geschlossene Pflanzendecke vor Bodenabträgen. Die raue Winterfurche erwies sich vor früh gesäten, schnell die Reihen schließenden Sommerkulturen (insb. Sommergetreide) als Maßnahme, die einer gepflügten und eingesäten Fläche im Erosionsschutz nicht nachstehen dürfte.

Von der Option, temporäre Grünstreifen in Maisbeständen anzulegen, haben die Landwirte nur in geringem Umfang Gebrauch gemacht. Die meisten dokumentierten CC-Erosionsschutzstreifen erwiesen sich so, wie sie angelegt waren, als wenig oder gar

nicht wirksam. Richtig platziert und gut entwickelt könnten sie einen gewissen Schutz bieten. Der damit verbundene Aufwand ist aber unverhältnismäßig hoch.

Die CC-Wasser-Klassen bilden die Erosionsgefährdung im Projektgebiet meistens befriedigend ab. Die Berücksichtigung der Hanglänge hätte die Treffsicherheit verbessert und deutlich mehr Feldstücke als erosionsgefährdet ausgewiesen.

Die Auswertung der Luftbilder von Erosionsgebieten zeigte eindrücklich, dass abgetragener Boden vor allem dort in Gewässer gelangt, wo Hänge in ihrer gesamten Länge mit Mais (oder anderen Reihenkulturen) bestellt sind und wo Tiefenlinien gebündelten Abfluss mit hoher Schleppkraft ermöglichen. Bei starkem Wasserzustrom werden schmale Grünstreifen und auch Ranken und Wege überspült.

Kulturartenwechsel im Hang erwies sich als einfach realisierbare und wirksame Maßnahme, um Erosionsschäden einzugrenzen. Um Erosion ausreichend zu verhindern, müsste aber auf den Maisflächen als Flächenschutz eine Mulchdecke vorhanden sein.

Erosion im Winter wurde in den beiden Projektjahren nur in vergleichsweise geringem Umfang festgestellt. Betroffen sind überwiegend Felder mit spät gesättem Winterweizen.

Grünland entlang von Gewässern besitzt kraft dessen Breite und geringem Gefälle eine gute Pufferwirkung. Deshalb sollten neu angelegte gewässerbegleitende Grünstreifen ausreichend breit sein und flach zum Gewässer auslaufen. Ausgeprägte Tiefenlinien mit großem Einzugsgebiet müssten dauerhaft begrünt werden, um zu verhindern, dass abgetragener Boden auch über Schutzstreifen hinweg in Gewässer gelangt.

Pufferstreifen zum Gewässerschutz stoßen generell schnell an ihre Wirkungsgrenzen, wenn die Felder darüber nicht flächendeckend vor Erosion geschützt sind.

## **2 Einleitung**

### **2.1 Schutz vor Bodenerosion**

Bodenerosion mindert auf Dauer die Ertragsfähigkeit der Böden, trägt wesentlich zur Belastung der Gewässer mit Schlamm und Phosphat bei und kann in Einzelfällen zu erheblichen Schäden und Störungen im Bereich von Straßen und Siedlungen führen. Auslöser von Bodenerosion durch Wasser sind vor allem Starkregenereignisse (AUERSWALD et al., 2009; BRANDHUBER, 2012). Der Klimawandel nimmt möglicherweise Einfluss auf Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen (ROUSCHEK, 2012; WURBS & STEININGER, 2011). Die Weiterentwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zum Erosionsschutz dient der Landwirtschaft selbst, liegt aber im Sinne der Daseinsvorsorge genauso im öffentlichen Interesse.

Landwirte integrieren verschiedene Erosionsschutzmaßnahmen in die Bewirtschaftung ihrer Felder, freiwillige (mit oder ohne Förderung durch Agrarumweltmaßnahmen) und verpflichtende (insb. Cross Compliance Vorschriften).

### **2.2 Cross Compliance Vorschriften zum Erosionsschutz**

Die Cross-Compliance-Bestimmungen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) schreiben den Mitgliedsstaaten vor, Regelungen zum Schutz des Bodens vor Erosion zu erlassen. In Deutschland wurden die im Rahmen der GAP verbindlichen Standards „Mindestanforderungen an die Bodenbedeckung“ und „Mindestpraktiken der Bodenbearbeitung entsprechend den standortspezifischen Bedingungen“ im Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz und in der „Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand“ (Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung bzw. DirektZahlVerpflV) umgesetzt.

Die DirektZahlVerpflV verpflichtete die Landesregierungen, die landwirtschaftlichen Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wasser und Wind einzustufen. Kriterien für die Einstufung der Wassererosionsgefährdung in zwei Klassen (CC-Wasser 1 und CC-Wasser 2) sind die Hangneigung, die Bodenerodierbarkeit und optional zusätzlich die Regenerosivität bzw. die Hanglänge, jeweils in Form von Faktoren der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG).

Für als erosionsgefährdet eingestufte Ackerflächen schreibt die DirektZahlVerpflV Schutzmaßnahmen vor, die die Bewirtschafter zu erfüllen haben. Sie zielen darauf ab, einen Ackerboden über Winter nicht in gepflügtem Zustand und ohne erosionsmindernde Bedeckung der Bodenoberfläche liegen zu lassen. Vor Sommerkulturen erfordert dies Pflugverzicht (in CC-Wasser 1 bis zum 15.2.; in CC-Wasser 2 vor Reihenkulturen bis zur Saat) oder, falls nach der Vorkultur gepflügt wurde, eine Zwischenfruchteinsaat bis spätestens 30.11. In der Stufe CC-Wasser 1 genügt auch eine Bewirtschaftung quer zum Hang. Nimmt ein Bewirtschafter mit erosionsgefährdet eingestuften Flächen an besonderen Fördermaßnahmen zum Erosionsschutz teil, entstehen für diese Flächen keine weiteren Erosionsschutzverpflichtungen. Die Landesregierungen können in Ihren Rechtsverordnungen unter definierten Bedingungen abweichende Anforderungen festlegen.

Bayern hat die Anforderungen der DirektZahlVerpflV zum 01.07.2010 mit dem Erlass der Erosionsschutzverordnung (ESchV) erfüllt. Die Einstufung nach Wassererosionsgefährdung erfolgte für Feldstücke mit den ABAG-Faktoren Bodenerodierbarkeit (K) und Hangneigung (S). 19 % der Ackerfläche Bayerns fallen in CC-Wasser 1, knapp 5 % in CC-Wasser 2.

Von der Möglichkeit, von der DirektzahlVerpflV abweichende Bestimmungen zum Erosionsschutz festzulegen, hat Bayern Gebrauch gemacht. Die bayerische ESchV lässt im Wesentlichen folgende Erosionsschutzmaßnahmen als abweichende Anforderungen zu:

- raue Winterfurche vor frühen Sommerkulturen (Sommergetreide, Erbsen, Ackerbohnen, Klee gras u.a.)
- raue Winterfurche vor Mais und Zuckerrüben in CC-Wasser 1+2 und vor Gemüse und Kartoffeln in CC-Wasser 2, wenn spätestens unmittelbar nach Ansaat der Kulturen Erosionsschutzstreifen mit einer Breite von mindestens 5 Metern überwiegend quer zur Haupthangrichtung angelegt werden.
- Erlaubnis des Pflügens auf CC-Wasser 1 Flächen vor Kartoffeln und Gemüsekulturen.
- Darüber hinaus sind Feldstücke von den Vorgaben ausgenommen, die nicht größer als 0,5 ha sind, ebenso wie Feldstücke, die ausgeprägt schmal und lang zugeschnitten sind.

## 2.3 Projektziele

Wie weit die Ausgestaltung der bayerischen ESchV, aber auch einschlägige Agrarumweltmaßnahmen dem Schutz vor Wassererosion dienen, sollte unter realen Bedingungen festgestellt werden. Schwerpunkt des Projektes war die umfassende Dokumentation von möglichst vielen konkreten Erosionsereignissen im Projektzeitraum von April 2011 bis April 2013. Die Schutzwirkung der Regelungen der ESchV und weiterer Erosionsschutzmaßnahmen wurde anhand der dokumentierten Ereignisse beurteilt.

Der Identifikation von Erosionsereignissen dienten Niederschlagsintensitäten auf Basis von RADOLAN-Daten. Die Dokumentation der Erosionsspuren erfolgt über Luftbilddaufnahmen, ergänzt durch Geländeerhebungen. Regionales Expertenwissen wurde durch die Beteiligung der Fachzentren Agrarökologie an den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten eingebunden.

# 3 Methodik

## 3.1 Untersuchungsgebiet

Für die Feldstudie ist auf Grundlage des „Erosionsatlas Bayern“ (Abb. 1) ein Hauptuntersuchungsgebiet ausgewählt worden. Das Erosionsrisiko ist im bayerischen Tertiärhügelland am höchsten, deshalb fiel die Wahl auf dieses Gebiet (AUERSWALD et al. 2009; TREISCH & BRANDHUBER 2012). In die Untersuchung und Auswertung aufgenommen wurden in geringerem Umfang auch Gebiete außerhalb des Tertiärhügellandes.



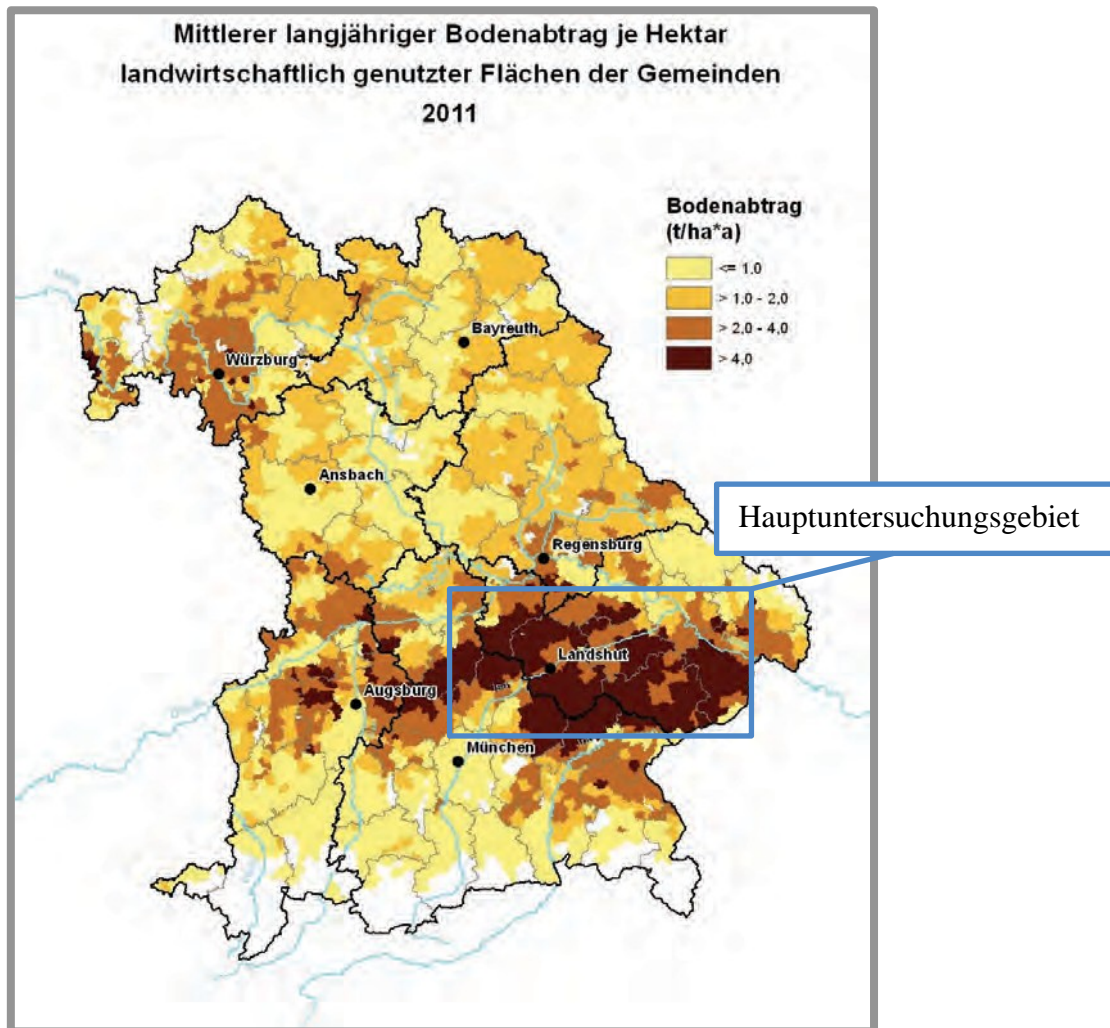


Abb. 1: Mittlerer langjähriger Bodenabtrag je Hektar landwirtschaftlich genutzter Flächen der Gemeinden (Erosionsatlas Bayern, LfL-Internet)

### 3.2 Identifikation von Starkregenereignissen mit RADOLAN

Niederschläge werden üblicherweise in Niederschlagsgebern nach Hellmann gemessen. Diese liefern die Niederschlagshöhe- und -intensität an einem Ort („Punkt“) mit hoher Genauigkeit. Die räumliche Repräsentanz ist gering. Wetterradargeräte messen dagegen das Niederschlagsaufkommen flächendeckend. Dazu wird eine elektromagnetische Wellen ausgesandt (Primärsignal), an einem Niederschlagsteilchen reflektiert und als „Echo“ (Sekundärsignal) empfangen. Radar ist als einziges Messsystem in der Lage Niederschlag großräumig, lückenlos und in hoher raum-zeitlicher Auflösung zu erfassen. Aus den Radarbildern lässt sich u.a. erkennen an welchem Ort die höchsten Niederschlagsintensitäten eines Niederschlagsereignisses aufgetreten sind. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) betreibt ein Netz von 16 (demnächst 17) Radarstationen in Deutschland. Das indirekte Messprinzip und die Tatsache, dass Wetterradare den Niederschlag in höheren Schichten der Atmosphäre und nicht am Boden messen kann zu Ungenauigkeiten und Fehlechos führen. Um quantitativ korrekte Niederschlagshöhen zu erhalten ist deshalb eine Aneichung mithilfe automatischer Niederschlagsmesser am Boden erforderlich. Dazu verwendet der DWD derzeit 1300 Stationen bundesweit. RADOLAN (RADAR OnLine ANeichung) ist ein vom DWD entwickeltes Verfahren zur Online-Aneichung von Radar-

niederschlagsdaten. Der operationelle Routinebetrieb läuft beim DWD seit Juni 2005. RADOLAN wird vor allem für die Hochwasservorhersage genutzt, erweist sich aber auch für die Lokalisierung von Erosionsschäden als hilfreich. Die Intensitätsauflösung liegt bei 0,1 mm, die räumliche Auflösung beträgt 1 km<sup>2</sup>.

Der Projektpartner DWD, Niederlassung Weihenstephan, brachte die beim DWD generierten RADOLAN-Niederschlagsdaten in das Projekt ein und darüber hinaus auch sein agrarmeteorologisches Expertenwissen sowie sein Knowhow im Bereich der Messung und Modellierung erosionsauslösender Niederschläge. Die RADOLAN-Tagesniederschlagssummen stellte der DWD, Niederlassung Weihenstephan, bereits jeweils am Morgen nach einem Tag mit hohen Niederschlägen als Datensatz und zusätzlich aufbereitet als Bayernkarte zur Verfügung. Im Fokus stand insbesondere die Zeit von Mai bis Juni, wenn konvektive Niederschläge auf Böden mit wenig Bedeckung fallen.

Abb. 2 zeigt exemplarisch eine Bayernkarte mit dem Tagesniederschlag vom 31.05.2012, so wie sie vom DWD aus den RADOLAN-Daten für das Projekt aufbereitet wurde. Auffällig ist auf der RADOLAN-Karte vom 31.05.2012 ein Gewitterzug im Bayerischen Wald (Abb. 2, roter Pfeil).

Die RADOLAN-Tagesniederschlagskarte von Bayern liefert erste Hinweise, ob in bestimmten Gebieten mit Erosionsschäden gerechnet werden muss. Neben der Niederschlagshöhe, -intensität und -verteilung (Landregen oder konvektiver Gewitterregen) sind dazu weitere Kriterien zu berücksichtigen, insbesondere

- die Vegetationszeit: kritisch sind Zeiten mit geringer Bodenbedeckung und Gewitterregen, also insbesondere die Monate Mai und Juni, dieser Zeitraum stand im Zentrum der Untersuchungen und Auswertungen,
- die Anbauverhältnisse im Starkregengebiet, insb. der Anteil von spät die Reihen schließenden Kulturen (vor allem Mais),
- die standortbedingte Erosionsgefährdung (Hangneigung, Bodenart, Hanglänge).

Für die weitere Analyse wurden an der LfL die vom DWD zur Verfügung gestellten Niederschlagsdaten mit ArcGIS bearbeitet und in einem größeren Maßstab dargestellt. Abb. 3 gibt beispielhaft RADOLAN-Tagesniederschlagssummen in einem Maßstab wieder, der eine genaue Abgrenzung des betroffenen Erosionsgebiets ermöglicht. Es zeigte sich, dass ein Gebiet zwischen Roding (Oberpfalz) und Stallwang (Niederbayern) betroffen war.

Neben Tagesniederschlagsdaten werden mit RADOLAN auch Stunden- und 5-Minutenwerte generiert. Die Stunden- und 5-Minutenwerte erlauben es, die Intensität und damit die Erosivität des Niederschlages einzuschätzen.

Für die spätere Auswertung ist auch die Jährlichkeit (Wiederkehrzeit) der Niederschlagsintensität von Bedeutung, sie wurde mit Hilfe des KOSTRA-Atlas des DWD (KOSTRA DWD 2000, BARTELS et al., 1997) bestimmt.

Die Abb. 4 und Abb. 5 decken jeweils das gleiche Gebiet wie Abb. 3 ab und zeigen die maximalen Stundenwerte (Abb. 4) und die maximalen 5-Minuten-Werte (Abb. 5). Der Tagesniederschlag war in diesem Fall fast komplett in einer Stunde gefallen.

### 3.3 Identifikation von Gebieten mit Erosionsschäden

Mit Hilfe digitaler Geodaten der Bayerischen Landesvermessungsverwaltung, der Daten aus dem Erosionsatlas Bayern, den CC-Wassereinstufungen und den Informationen über den Anbau der Kulturen aus INVEKOS kann für das von Starkregen betroffene Gebiet eine Prognose für Erosionsschäden gestellt werden. Im Beispielgebiet zwischen Roding und Stallwang waren - neben Grünland und Wald – auch hoch erosionsgefährdete Ackerflächen mit Maisanbau vorhanden. In Verbindung mit dem hohen Tagesniederschlag bestand Ende Mai eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass es zu Bodenabschwemmungen gekommen ist.

Das zweite Gebiet mit starkem Niederschlag auf der RADOLAN-Bayernkarte (Abb. 2, blauer Pfeil) liegt an der Donau, hier sind alle Flächen eben. Weitere Recherchen erübrigten sich.

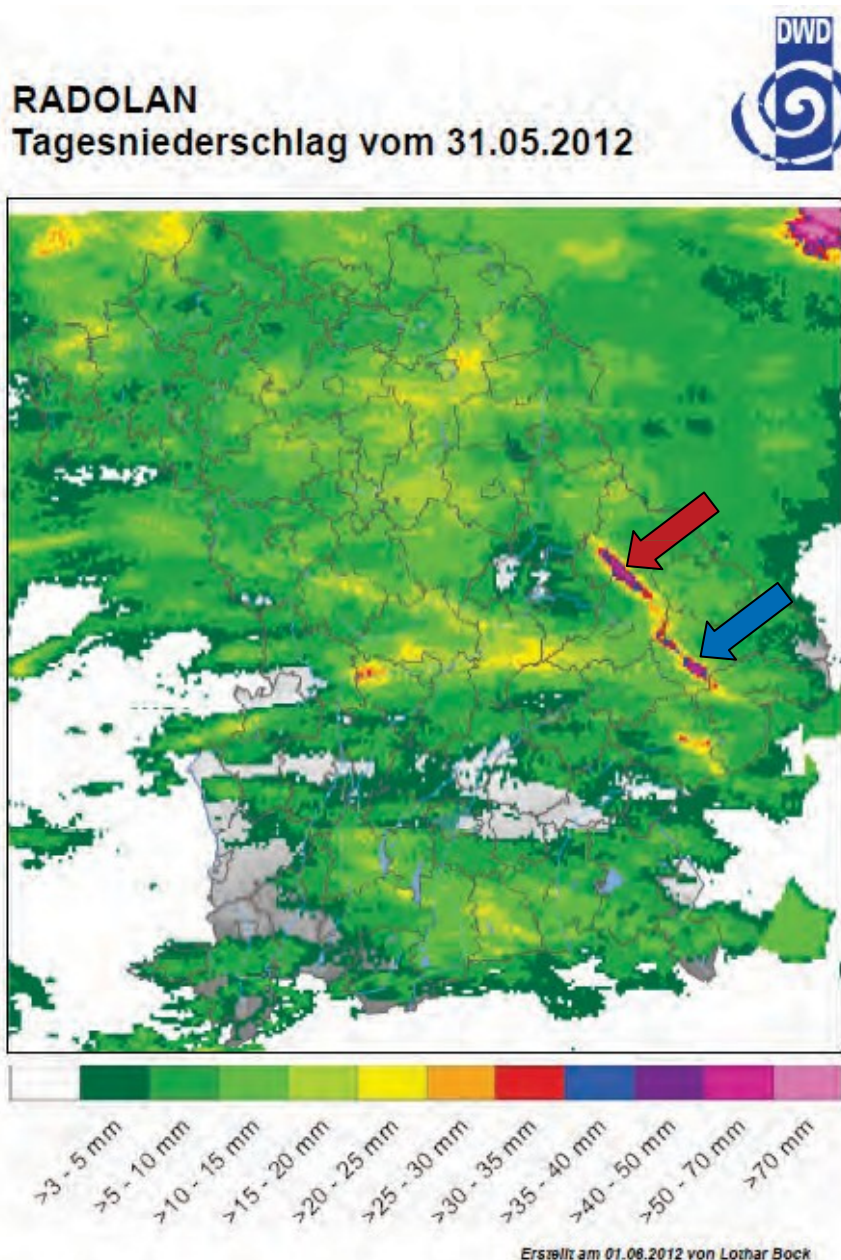


Abb. 2: RADOLAN-Tagesniederschlag in Bayern am 31.05.2012, (DWD)



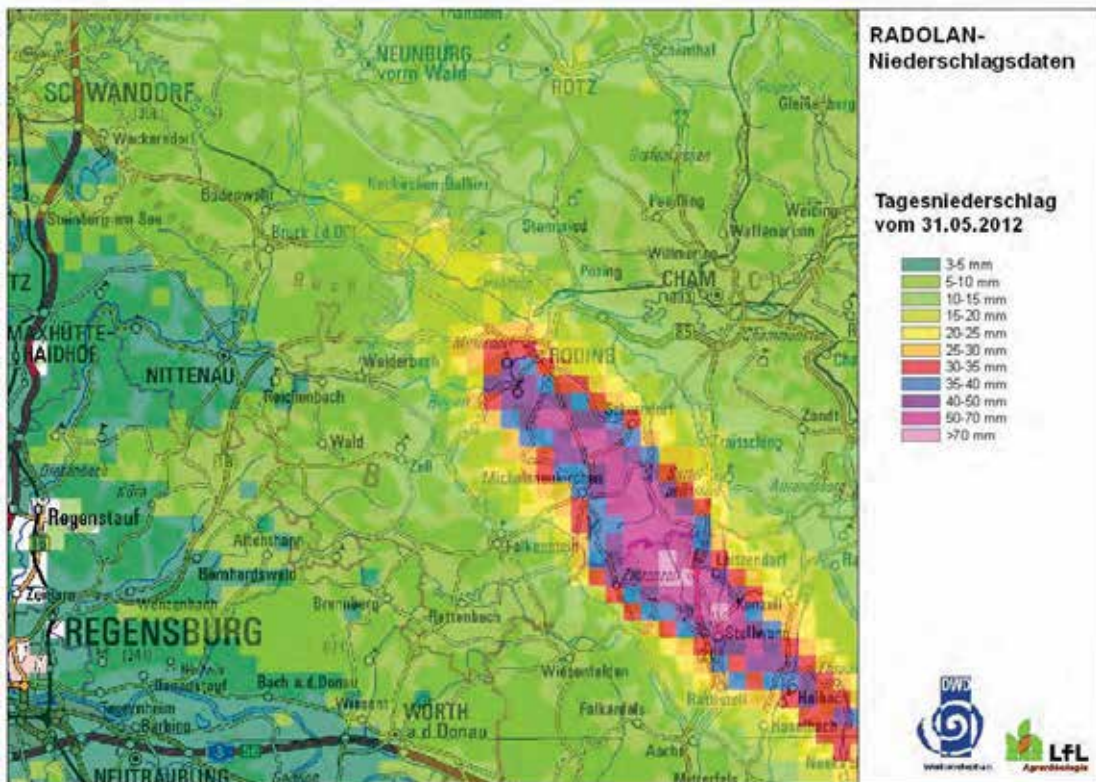


Abb. 3: RADOLAN-Tagesniederschlag am 31.05.2012, Gebiet Roding - Stallwang

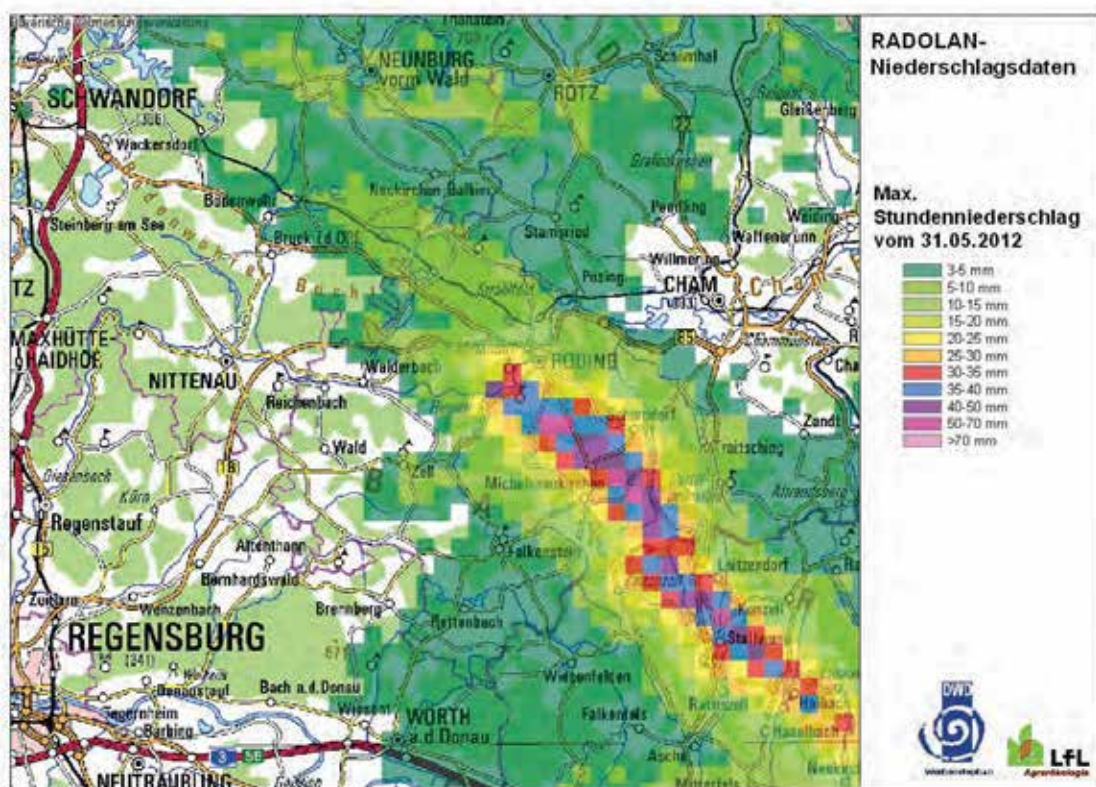


Abb. 4: Maximaler Stundenniederschlag am 31.05.2012

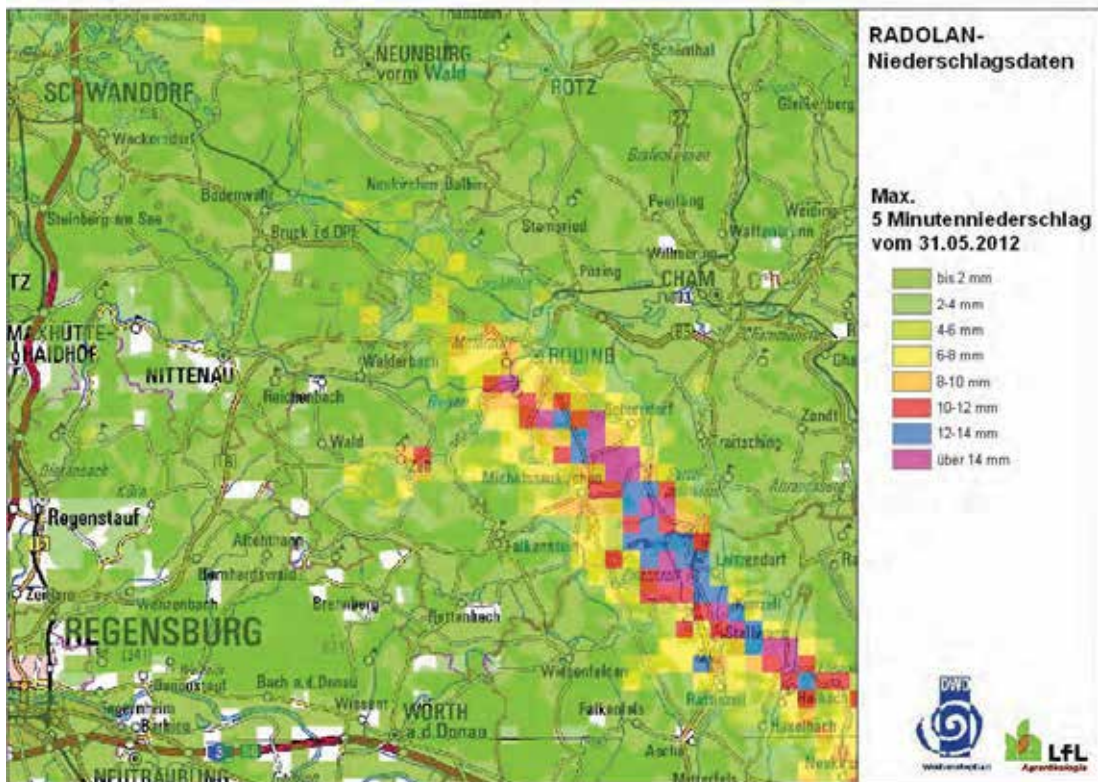


Abb. 5: Maximaler 5-Minuten-Niederschlag am 31.05.2012

Ergab die Prognose eine hohe Wahrscheinlichkeit für Erosionsschäden, so erfolgte in der Regel eine Beurteilung vor Ort durch den Projektmitarbeiter an der LfL, teils mit Unterstützung des zuständigen AELF, in der Regel des Wasserberaters am Fachzentrum Agrarökologie.

Hinweise von Wasserberatern bzw. Mitarbeitern von Landwirtschaftsämtern waren hilfreich für die Erfassung von Erosionsereignissen, deren Auftreten mit der geschilderten Methodik als unwahrscheinlich eingeschätzt worden war.





Abb. 6: *Erosionsspuren fünf Tage nach einem Niederschlagsereignis, aufgenommen am 07.05.2012*

### 3.4 Luftbildaufnahmen in Erosionsgebieten

Abb. 6 zeigt ein Maisfeld mit Erosionsschäden, das Foto wurde fünf Tage nach dem Starkniederschlag aufgenommen. Man erkennt Erosionsspuren, die auch aus der Luft deutlich zu erkennen wären. Wiesen mehrere Flächen Erosionsschäden dieser Ausprägung auf, so wurden von dem betroffenen Gebiet Luftbilder beauftragt.

Die Luftbilder wurden von einem externen Dienstleister mit Erfahrungen in der Dokumentation von Erosionsschäden in einem Zeitraum von 14 Tagen nach dem Erosionsereignis angefertigt (W. Bauer, [www.agroluftbild.de](http://www.agroluftbild.de)). Der Zeitabstand zwischen Erosionsereignis und Luftbildaufnahme richtete sich nach den Wetterbedingungen. Klare Sicht ist Voraussetzung für aussagekräftige Luftbilder. Nach ca. drei Wochen standen der LfL die Luftbilder zur Verfügung und es konnten die weitere Schritte zur Auswertung eingeleitet werden.

Abb. 7 gibt ein typisches Befliegungsmuster wieder. Das Erosionsgebiet in der Nähe von Vilshofen wurde systematisch abgeflogen und mit Luftbildern dokumentiert, um alle Flächen mit Erosionsspuren zu erfassen. In anderen Erosionsgebieten sind nur einzelne Flächen mit Erosionsschäden aufgenommen worden, da das Gebiet groß und nur wenige Flächen betroffen waren.

Die Luftbilder sind nicht entzerrt, aber georeferenziert. Mit der Software ViewNX2 kann die Lage der Luftbilder in Google Maps angezeigt werden. Die GPS-Daten und weitere

Informationen in den Luftbildern können mit der Software ViewNX2 exportiert und in Excel geladen werden.

Insgesamt entstanden während der Projektlaufzeit ca. 2.500 Luftbilder.



Abb. 7: Erosionsgebiet mit Dokumentation von Luftbildaufnahmen

Ein typisches Luftbild (Abb. 8) bildet ein Maisfeld ab, auf dem Boden abgetragen wurde. Die Bodenbedeckung war Ende Mai gering, die Niederschlagsintensität sehr hoch. Zwischen dem Maisfeld und einem Bach liegt eine Wiese, auf der ausgetragener Boden abgelagert ist. Ist der Boden aus der Maisfläche breitflächig abgetragen (Rillenerosion), wie in der linken Bildhälfte zu erkennen, so kann die Wiese den Wasserfluss bremsen, die mitgeschleppten Bodenteilchen bleiben in der Wiese liegen. Auf der rechten Bildhälfte ist der Wasserabfluss konzentriert, er besitzt eine hohe Schleppkraft, die Wiese wird durchflossen. Es entsteht ein „Kurzschluss“ zwischen Maisfeld und Gewässer, Bodenpartikel gelangen in größerem Umfang in das Fließgewässer.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
31.05.2012	66 mm	52 mm	13,8 mm

Abb. 8: Erosion auf einer Maisfläche, 09.06.2012

Einen Überblick über alle Gebiete mit Luftbildaufnahmen der Jahre 2011 und 2012 gibt Abb. 9. Die meisten Aufnahmen entstanden im Hauptuntersuchungsgebiet. Daneben wurden immer wieder Erosionsereignisse aus ganz Bayern gemeldet, diese wurden, falls sie für das Projekt relevant waren, auch überflogen und mit Luftbildern dokumentiert. In manchen Regierungsbezirken sind keine Luftbilder entstanden, obwohl es zu Erosionsereignissen gekommen war. Dagegen sprachen die im Projekt begrenzten Personal-Ressourcen bzw. das nicht angemessene Kosten-Nutzenverhältnis.

Ein markanter Hagelzug, der das Untersuchungsgebietes im Jahr 2011 querte, wurde nicht systematisch dokumentiert, weil die Jährlichkeit der Niederschlagsintensität zu hoch war, um die Effektivität üblicher Erosionsschutzverfahren realistisch beurteilen zu können.



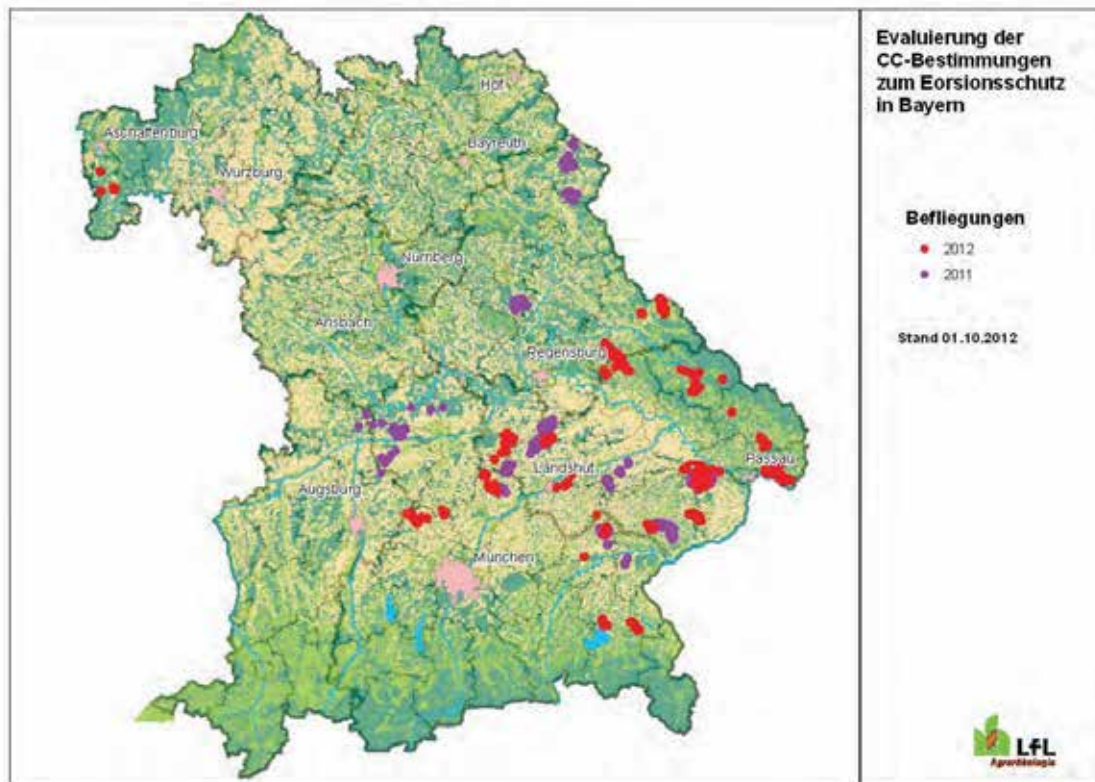


Abb. 9: Gebiete mit Luftbildaufnahmen in den Jahren 2011 und 2012

### 3.5 Vor-Ort-Beurteilung

Als erster Schritt der Vor-Ort-Beurteilung erfolgte eine Sichtung der Luftbilder auf Erosionsschäden und deren Auswirkungen. Neben den Erosionsschäden wurde besonderes Augenmerk auf Luftbilder mit erkennbaren Erosionsschutzmaßnahmen gelegt. Dazu zählen CC-Streifen zum Erosionsschutz, frühe Sommerkulturen, auch Miststreifen und Pflugfurchen zum Erosionsschutz. Die Maßnahme „Mulchsaat mit/ohne Saatbettbereitung“ kann man auf dem Luftbild nicht ausreichend sicher erkennen, dazu ist eine Bestandsaufnahme vor Ort erforderlich. Sobald die Sichtung der Luftbilder abgeschlossen war, wurden die als besonders interessant identifizierten Flächen und deren Umfeld im Gelände aufgenommen. Dies erfolgte mit dem zuständigen Wasserberater, sofern dies terminlich möglich war.

Ein Beispiel ist das Luftbild in Abb. 10, dort ist ein CC-Erosionsschutzstreifen zu erkennen. Das zugehörige Foto (Abb. 11) zeigt den schwach entwickelten CC-Erosionsschutzstreifen vor Ort Anfang Juni. Die Fotos der Abb. 12 und Abb. 13 wurden auf der gleichen Fläche aufgenommen. In Abb. 12 sind die Erosionsschäden deutlich zu erkennen, zum einen der ausgebagerte Graben am rechten Bildrand, zum andern die Bodenablagerung links neben dem Graben.

Bei der Bestandsaufnahme vor Ort wurden die Parameter erfasst, die auf dem Luftbild nicht oder nicht ausreichend genau zu erkennen sind (siehe Kapitel 3.6.1).



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
12.05.2011	27 mm	14 mm	5,5 mm

*Abb. 10: Maisfläche mit schwach entwickeltem CC-Erosionsschutzstreifen, 18.05.2011*



Abb. 11: Erosionsschutzstreifen, 06.06.2011    Abb. 12: Erosionsschaden im Maisfeld am Hangfuß, 06.06.2011



Abb. 13: Erosionsschaden und Erosionsschutzstreifen, 06.06.2011

### 3.6 Datenbestand „Feldstücke und Bodenerosion“

#### 3.6.1 Dokumentierte Parameter

In der Excel-Tabelle „Feldstücke und Bodenerosion“ sind alle Daten zu den Feldstücken in den Erosionsgebieten zusammengefasst. Bezugsgröße aller Daten ist die FID-Nummer. Der Datensatz ist anonym, Bewirtschafter, Gemeinde und Landkreis werden nicht gespeichert.

Aus dem INVEKOS-Datensatz stammen die Feldstücksgröße, die Anzahl der Nutzungen pro Feldstück, die letzten vier Vorfrüchte, die aktuelle KULAP-Maßnahme, der KS-Wert und die CC-Wasser-Einstufung.

Weitere Kennzahlen der Feldstücke wurden mit der GIS-Software ArcGIS 10 von ESRI aus Geodaten und RADOLAN-Daten berechnet: die maximale erosive Hanglänge, die Hangneigung (50 %, 75 % und 94 % Perzentil), die ABAG-Faktoren, der Formfaktor, der Erosion auslösende Tagesniederschlag, maximale Stunden- und 5-Minuten-Niederschlag.

Eine weitere Informationsquelle für die Tabelle „Feldstücke und Bodenerosion“ sind die Bestandsaufnahmen vor Ort. Hierzu zählen die Saatrichtung, konzentrierter Abfluss im Feld, Wasserzufluss, Gewässeranschluss, Bodenabtrag aus der Fläche, Art der Erosion, Erosionsstärke, Erosionsschutzmaßnahme, Wirkung der Erosionsschutzmaßnahme und die Bodenbedeckung.

Inwieweit im Einzelfall Faktoren wie die genaue Korngrößenzusammensetzung oder die Kalkversorgung und der Humusgehalt des Bodens auf das Erosionsgeschehen einwirken, muss im Rahmen des Projekts offen bleiben.

Insgesamt umfasst die Tabelle 4.240 Ackerfeldstücke. Für 543 Feldstücke liegen Daten aus der Vor-Ort-Ermittlung vor.

### 3.6.2 Erosionsauslösender Niederschlag

Der komplette Datensatz des DWD für einen bestimmten Tag umfasst die Tagessumme des Niederschlags, die stündlichen Niederschlagssummen aller 24 Stunden und die Niederschlagssummen aller 288 5-Minuten-Zeiträume, jeweils flächendeckend in einer Rasterauflösung von 1\*1 km. Aus dem umfassenden DWD-Datensatz wurden die Maximalwerte für die einzelnen Stunden- und 5 Minuten-Zeitabschnitte innerhalb des jeweiligen Tages ausgelesen und den Feldstücken zugeordnet (ArcGIS-Werkzeug „Zonal Statistic as Table“).

Zu beachten ist:

- RADOLAN gibt einen Mittelwert für 1 km<sup>2</sup> aus, innerhalb dieses Areals kann es durchaus Unterschiede in der Niederschlagsintensität geben.
- Die 5-Minuten-Maxima wurden in der Auswertung als fixe Uhrzeit-Abstände abgelesen, also jeweils von 00:00 Uhr bis 00:05 Uhr usw. Analog wurde für die Stunden-Maxima verfahren. Gleitende Maxima könnten höher sein. Ein konstruiertes Beispiel dazu: Ein zwischen 16:03 und 16:08 gleichmäßig verteilter Niederschlag von 10 mm wird ausgelesen als 5-Minuten-Maximum von 6 mm (16:05 bis 16:10).

Mit welcher Niederschlagshöhe man im Erosionsgebiet alle 10 Jahre rechnen muss, wurde mit Hilfe des Programms KOSTRA-DWD 2000 (KOSTRA = Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen) ermittelt. Damit kann festgestellt werden, ob die Jährlichkeit des erosionsauslösenden und mit RADOLAN erfassten Niederschlags mehr oder weniger als 10 Jahre beträgt.

### 3.6.3 Hangneigung

Grundlage für die Berechnung der Hanglänge war das DGM5 mit einer Auflösung von 5\*5 m. Für das gesamte Untersuchungsgebiet wurde zunächst die steilste Fließrichtung bestimmt (Werkzeug „Flow Direction“) und anschließend die Fließlänge entlang des steilsten Fließweges für jedes Feldstück berechnet (Werkzeug „FlowLength“). Dabei wurden flache Bereiche von < 1 % Hangneigung von der Berechnung ausgenommen, da sich dort die Fließgeschwindigkeit stark verringert und der Boden Zeit hat, das Wasser aufzunehmen. Für jedes Feldstück konnte auf diese Weise eine maximale Hanglänge entlang des steilsten Fließweges ermittelt werden.

### 3.6.4 Hanglänge

Das Erosionsgebiet wurde in ein 5\*5 m Raster eingeteilt. Für jedes Rasterfeld wurde die Fließrichtung bestimmt (ArcMap-Werkzeug „Flow Direction“). Anschließend werden die

Feldstücke voneinander isoliert, indem die Feldstücksgrenzen um vier Meter nach innen versetzt werden. Als nächstes wurde für die max. Hanglänge die Hangneigung (Werkzeug „Slope“, 5 m Raster) berechnet. Jedes 5\*5 m Rasterfeld mit einer Hangneigung von mehr als 1% fließt in die Berechnung der Hanglänge ein. Ist die Hangneigung kleiner als 1% verringert sich die Fließgeschwindigkeit im Feld und der Boden hat Zeit das Wasser aufzunehmen, folglich geht dieses Rasterfeld nicht in die maximale Hanglänge ein. Ergebnis ist schließlich eine maximale Hanglänge für jedes Feldstück (Werkzeuge „Flow Length“ und „Zonal Statistic as Table“).

### 3.6.5 ABAG-Faktoren und Tolerierbarer Bodenabtrag

Für die erfassten Feldstücke wurden die Faktoren der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) einzeln erfasst (SCHWERTMANN et al., 1990; BRANDHUBER et al., 2012).

R-, K- und S-Faktor stammen aus bereits bestehenden Berechnungen der LfL. Der R-Faktor wurde dem „Erosionsatlas von Bayern“ entnommen, während K- und S-Faktor auf aktualisierten Berechnungen des Erosionsgefährdungskatasters beruhen. Der L-Faktor wurde aus der maximalen Hanglänge eines jeden Feldstücks (vergl. 3.6.4) abgeleitet, während der C-Faktor je Feldstück aus dessen vierjähriger Fruchtfolge nach INVEKOS unter Berücksichtigung von KULAP-Erosionsschutzmaßnahmen berechnet wurde.

Als Tolerierbarer Bodenabtrag gilt der Richtwert aus Bodenzahl / 8 (SCHWERTMANN et al. 1990). In der Auswertungstabelle wurde festgehalten, ob der berechnete ABAG-Abtrag den Tolerierbaren Bodenabtrag überschreitet oder nicht.

### 3.6.6 Formfaktor nach ESchV

Sehr schmale Feldstücke in Terrassenlage werden vom digitalen Geländemodell nicht in jedem Fall sachgerecht abgebildet. Damit diese Flächen nicht ungerechtfertigt in CC-Wasser 2 eingestuft werden, wird mit einem mathematischen Verfahren geprüft, ob ein Feldstück besonders lang (Länge/Breite > 3) und schmal (< 40 m) ist. Ist dies der Fall, kann eine Terrassenlage angenommen werden und ein derartiges Feldstück wird von CC-Wasser 2 in CC-Wasser 1 zurückgestuft. In CC-Wasser 1 würde die Regelung „quer zum Hang“ greifen. Ob bei einem Feldstück der Formfaktor zu einer Herabstufung der CC-Wasser-Klasse geführt hat, wurde ebenfalls in der Auswertungstabelle notiert.

### 3.6.7 Konzentrierter Abfluss / Fremdwasserzufluss

Kann sich Oberflächenwasser in Hangmulden sammeln, fließt es konzentriert mit hoher erosiver Energie und hoher Schleppekraft ab. Ansonsten Abfluss bremsende Strukturen wie Ranken, Hecken, Wege, Grünstreifen oder Wiesen können dann durchflossen werden, Bodenmaterial wird mitgeschleppt und kann in wasserführende Gräben und Bäche gelangen. Abb. 14 zeigt exemplarisch die Wirkung eines konzentrierten Oberflächenabflusses. Auf der oberliegenden Maisfläche (links im Bild) sammelt sich das Wasser und fließt in das unterliegende Wintergetreidefeld. Im Wintergetreide kommt es zu keinem Bodenabtrag, da die Wurzeln den Boden ausreichend festhalten können. Das Wasser wird aber vom Getreide nicht aufgehalten, fließt konzentriert in das darunter liegende Maisfeld ein und löst dort erhebliche Abschwemmungen aus.

In der Tabelle ist die Information „Konzentrierter Abfluss“ und „Wasserzufluss“ ja oder nein aufgenommen.





Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
02.05.2012	35 mm	28 mm	9,6 mm

Abb. 14: Konzentrierter Abfluss im Feld und Wasserzufluss in das unten angrenzende Feld, Mai 2012

### 3.6.8 Direkter Gewässeranschluss

In der Tabelle ist auch festgehalten, ob ein Feldstück an ein Gewässer angrenzt oder nicht. Ist ein trennendes Element, z.B. ein weiteres Feldstück, zwischen dem Gewässer und der Fläche, so besteht definitionsgemäß kein Gewässeranschluss. Als Gewässer zählen alle Gewässer I., II. und III. Ordnung (amtliche Einstufung).

Nicht als Gewässer erfasste Gräben führen bei Starkregen Wasser und leiten abgetragenen Boden in perennierende Fließgewässer (BUG & MOSIMANN, 2011). Anhand der Luftbilder konnte aber nicht ausreichend sicher festgestellt werden, ob Gräben mit dieser Funktion vorhanden sind. Deshalb beschränkte sich die Auswahl auf die amtlich gelisteten Gewässer.

Die Abb. 15 und Abb. 16 zeigen Gewässer, in die nach Erosionsereignissen viel Sediment gelangt ist.



Abb. 15: Chamb (Opf.) nach einem Erosionsereignis, 08.07.2012



Abb. 16: Iglbachstausee nach einem Erosionsereignis, 18.05.2011

### 3.6.9 On-Site- und Off-Site-Schäden

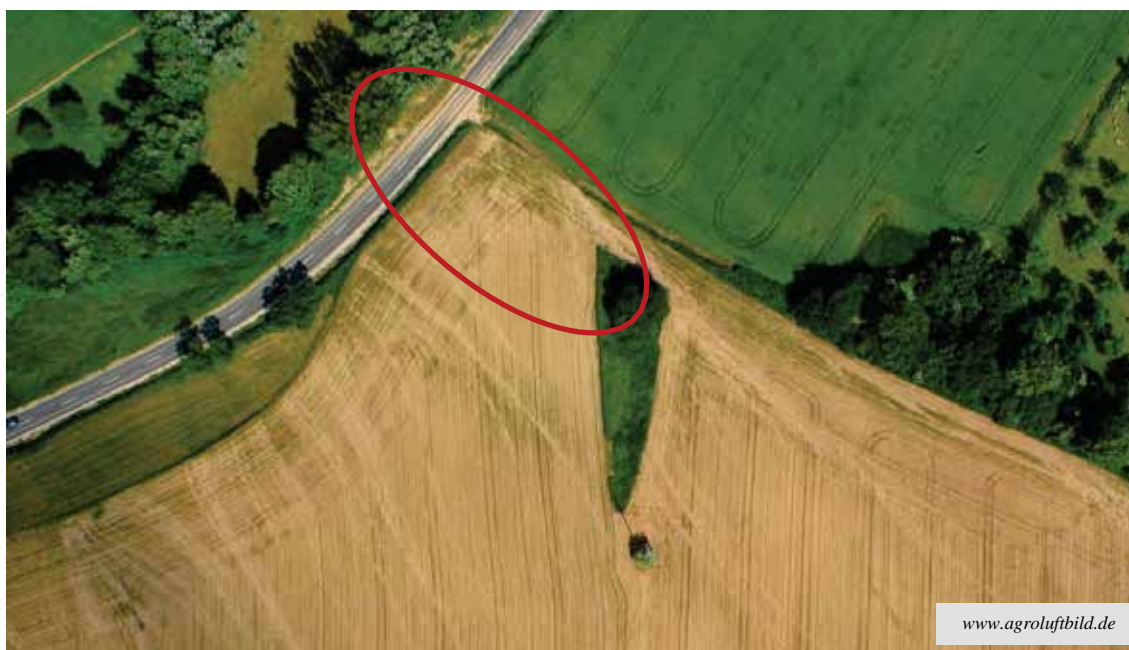
Wassererosion hinterlässt On-Site-Schäden und ggf. auch Off-Site-Schäden.

On-Site-Schäden sind alle Schäden, die auf der Ackerfläche entstanden sind. Dazu zählen Verringerung der Bodenfruchtbarkeit und Schädigung von Kulturpflanzen durch Bodenabtrag am Hang, Verschüttung von Saatgut und Pflanzen, Entstehen von Erosionsrinnen und -gräben, die die Bewirtschaftung erschweren, und von „Brennern“, die zu ungleicher Abreife führen.

Off-Site-Schäden sind Schäden, die außerhalb der landwirtschaftlichen Produktionsfläche entstehen: Bodeneintrag in Gräben, auf Wege, Straßen, in Siedlungen, in Gewässer und Biotope.

In der Tabelle ist erfasst, ob Boden auf der Fläche abgetragen wurde (ja / nein), ob Bodenmaterial das Feldstück verlassen hat und wo das Bodenmaterial liegen blieb. Mögliche Ablagerungsorte sind: Graben, Nachbarfeld, Feldweg, Straße, Teich und Fließgewässer.

Ein Beispiel dazu zeigt Abb. 17. Abgeschwemmter Boden ist auf dem Feldweg, im Graben und auf der Straße liege geblieben und auch ins Fließgewässer gelangt.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stunden- niederschlag	max. 5-Minuten- Niederschlag	Bodenbedeckung
06.05.2012	28 mm	14 mm	12,2 mm	3 %

Abb. 17: Bodenaustrag in Graben, Feldweg, Straße und Fließgewässer, 09.06.2012

### 3.6.10 Erosionsspuren im Feld

Eingeteilt werden Erosionsspuren in Erosionsrillen (2 - 10 cm), -rinnen (10 - 40 cm), und -gräben (> 40 cm) (BUG & MOSIMANN, 2012). Auf dem Luftbild sind Erosionsrinnen und -gräben am besten sichtbar, die Erosionsrillen sind schwieriger zu erkennen. Häufig sind alte Abflusslinien wieder von Erosion betroffen.



Abb. 18: Erosionsrillen,  
31.05.2012



Abb. 19: Erosionsrinnen,  
13.07.2011



Abb. 20: Erosionsgräben,  
19.07.2011



### 3.6.11 Schadensbewertung

Der Erosionsschaden wurde in vier Klassen eingeteilt: kein Schaden, geringer, deutlicher und erheblicher Erosionsschaden. Die Einstufung orientiert sich an Musterbeispielen.

Zu beachten ist, dass Erosionsspuren auf den Luftbildern erst ab einer gewissen Ausprägung sichtbar sind. Kleinere Erosionen können aus technischen Gründen nicht erfasst werden (Auflösung der Kamera, Vibrationen beim Fliegen). Das betrifft z.B. Bodenabschwemmungen in Fahrgassen in Gefällrichtung bei Wintergetreide, die in Lössgebieten mit wenig Maisanbau durchaus von Bedeutung sein können (MOSIMANN et al., 2009).

Das Luftbild in Abb. 21 steht für einen geringen Erosionsschaden. Der größte Teil des Feldstücks zeigt keine Erosionsspuren, an einer Ecke des Feldstückes (rot eingekreist) sind jedoch eindeutig Erosionsspuren erkennbar.

Abb. 22 zeigt exemplarisch einen deutlichen Erosionsschaden. Auf einem größeren Teil des Feldstücks sind Erosionsspuren vorhanden.

Als erheblich ist der Erosionsschaden in Abb. 23 einzustufen. Auf dem gesamten Feldstück fallen Erosionsrillen (Tiefe < 10 cm) und zum Teil auch Erosionsrinnen (10 - 40 cm tief) ins Auge.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
12.05.2011	26 mm	11 mm	7,1 mm

Abb. 21: Geringer Erosionsschaden, 18.05.2011



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
12.05.2011	19 mm	18 mm	4,9 mm

Abb. 22: Deutlicher Erosionsschaden, 25.05.2011





Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
20.05.2011	26 mm	16 mm	5,9

Abb. 23: Erheblicher Erosionsschaden, 26.05.2011

### 3.6.12 Saattrichtung

Die Saattrichtung (Bewirtschaftungsrichtung) wurde vor Ort oder aus dem Luftbild bestimmt, am PC-Arbeitsplatz erfolgt eine Abstimmung und Kontrolle der Geländeerhebung mit der Höhenlinienkarte, siehe Abb. 24. In der Tabelle „Feldstücke und Bodenerosion“ ist die Saattrichtung in 4 Stufen unterteilt:

- 0 = keine Saattrichtung zum Hang erkennbar (z.B. bei Wiesen und ebenen Flächen)
- 1 = Saat quer zum Hang (siehe Abb. 24)
- 2 = teilweise quer zum Hang (siehe Abb. 25)
- 3 = nicht quer zum Hang (siehe Abb. 26)



Abb. 24: Saat quer zum Hang

Abb. 25: Saat teilweise quer zum Hang

Abb. 26: Saat nicht quer zum Hang

Abb. 24 bis Abb. 26: © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013

### 3.6.13 Erosionsschutzmaßnahmen

Erfasst wurden vor Ort, durch Luftbildauswertung bzw. aus INVEKOS-Daten folgende Kategorien von Erosionsschutzmaßnahmen:

Mulchsaat mit / ohne Saatbettbereitung beim Anbau von Reihenkulturen - Verzicht auf den Pflug vor Reihenkulturen - CC-Erosionsschutzstreifen – sonstige Schutzstreifen im Feld - Miststreifen auf dem Feld – wasserableitende Pflugfurchen – Engsaat von Mais - Unterteilung des Feldstücks - Grünstreifen zum Gewässer und Bodenschutz (KULAP A35) – weitere KULAP-Maßnahmen

### 3.6.14 Wirkung der Erosionsschutzmaßnahmen

In der Tabelle „Feldstücke und Bodenerosion“ ist die Wirkung der Erosionsschutzmaßnahmen im konkreten Fall des dokumentierten Erosionsereignisses in fünf Stufen eingeteilt (keine bis sehr gute Wirkung).

Der Grad der Erosionsminderung hängt vom Potenzial der Maßnahme und deren Umsetzung auf der Fläche ab. So kann Mulchsaat mit Saatbettbereitung eine zufriedenstellende Schutzwirkung besitzen, wenn die Bearbeitung vor der Saat so schonend erfolgte, dass noch ausreichend Mulchmaterial nach der Saat auf der Bodenoberfläche verblieb (> 10 % Bodenbedeckung). Erfolgte aber die Zwischenfruchtsaat erst Anfang September, wurde im Frühjahr Gülle eingearbeitet und die Saatbettbereitung mit Kreiselegge intensiv durchgeführt, blieb nach der Saat kaum Mulchmaterial zum Bodenschutz übrig. Die Wirkung ist dann gering.

### 3.6.15 Grad der Bodenbedeckung

Ist der Boden durch Pflanzenreste bedeckt, so nehmen diese die Energie der aufprallenden Regentropfen auf, das Wasser kann in den nicht verschlammten Boden einsickern (AUERSWALD & SCHRÖDER, 2001). Eine Bodenbedeckung von 30 % erreicht bereits eine gute Wirkung (SCHMIDT et al. 2013). In der Tabelle ist die Bodenbedeckung in vier Klassen eingeteilt: < 10 %, 10 - 30 %, 30 - 45 % und > 45 %.

## 3.7 Auswertung der erfassten Daten

In der Tabelle „Feldstücke und Bodenerosion“ sind die wesentlichen Faktoren festgehalten, die das Erosionsgeschehen bestimmen und Erosionsschäden bewirken können: Niederschlagsintensität (Tagessumme, Maximum in 1 Stunde und in 5 Minuten innerhalb des Tages), Kultur, Bodenbedeckungsgrad, Hangneigung, -länge, -form, Bodenart, Saattrichtung, Wasserzufluss, Erosionsschutzmaßnahme.

In der hier präsentierten Auswertung wird der jeweiligen Faktorenausprägung (z.B. mit und ohne KULAP-Mulchsaat zu Mais) die Anzahl der einzelnen Feldstücke in den vier Erosionsschadensklassen zugeordnet. Das prozentuale Verhältnis der Schadensklassen in den Faktorenausprägungen erlaubt dann einen Vergleich zwischen den Faktorenausprägungen.

Bei der Interpretation ist darauf zu achten, ob und wie weit andere Faktoren das Ergebnis beeinflussen können. So wird man vermuten, dass KULAP-Mulchsaat vermehrt auf steileren Hängen vorkommt. Deshalb werden entsprechende Informationen bei Bedarf in Form von Tabellen angefügt.

Bestimmte Schutzmaßnahmen, wie z.B. Erosionsschutzstreifen im Feld, wurden in zu geringer Zahl dokumentiert, um eine aussagekräftige Sortierung nach Schadensklassen vornehmen zu können. Die Bewertung erfolgte dann anhand der Einzelfälle.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Niederschläge

#### 4.1.1 Jährlichkeit der erosionsauslösenden Niederschläge

Die Jährlichkeit (oder Wiederkehrzeit) der Niederschlagsintensität gibt Auskunft darüber, in welchem Zeitraum das Ereignis wieder auftreten kann. Im Bodenschutzrecht (Gefahrenabwehr von Wassererosion, § 8 BBodSchV) gilt - neben anderen Kriterien - eine Wiederkehrzeit von 10 Jahren als Schwelle, unterhalb derer schädliche Bodenveränderungen durch Wassererosion mit vorsorgenden Maßnahmen vermieden werden sollen. Ziel jedes Landwirts muss es also sein, die Bewirtschaftung seiner Felder so zu gestalten, dass bei einem Starkniederschlag, der statistisch alle 10 Jahre vorkommen kann, kein erheblicher Erosionsschaden entsteht (BRANDHUBER, 2012).

Im Tertiärhügelland besitzen Niederschläge von 65 mm bis 90 mm pro Tag, von 32 mm bis 40 mm pro Stunde und von 10 mm bis 15 mm pro 5 Minuten eine Wiederkehrzeit von 10 Jahren (KOSTRA DWD 2000).

In der Tabelle "Feldstücke und Bodenerosion" wurden die RADOLAN-Niederschläge auf Feldstückesebene nach einer Wiederkehrzeit von größer bzw. kleiner 10 Jahre geschichtet. Grundlage für die Abb. 27 sind alle Ackerfeldstücke im Zeitraum Mai/Juni 2011 und 2012. In 94 % der Fälle ist innerhalb der nächsten 10 Jahre mit der Wiederkehr des erosionsauslösenden Tagesniederschlags zu rechnen, in 82 % der Fälle mit der Wiederkehr des maximalen Stundenniederschlags und in 96 % mit der Wiederkehr des maximalen 5-Minutenniederschlags.

Die Starkniederschläge hatten also ganz überwiegend eine Intensität, auf die sich vorsorgende Erosionsschutzmaßnahmen ausrichten sollten.



Abb. 27: Anzahl der Feldstücke und Jährlichkeit der Niederschläge

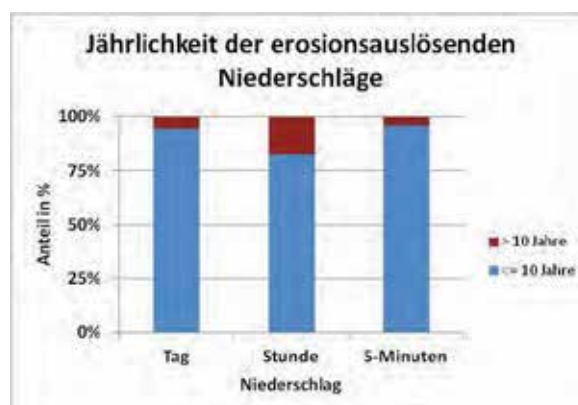


Abb. 28: Jährlichkeit der erosionsauslösenden Niederschläge (Mai/Juni)

In der kleinen Gruppe der Niederschlagsereignisse mit einer Wiederkehrzeit von mehr als 10 Jahren treten erwartungsgemäß noch häufiger Erosionsschäden auf, wie die Abb. 29 und Abb. 30 belegen. Berücksichtigt sind hier alle dokumentierten Feldstücke, die im Zeitraum Mai/Juni mit Mais bestellt waren.



Abb. 29: Anzahl der Feldstücke nach Jährlichkeit der max. Stundenniederschläge und Erosionsschaden

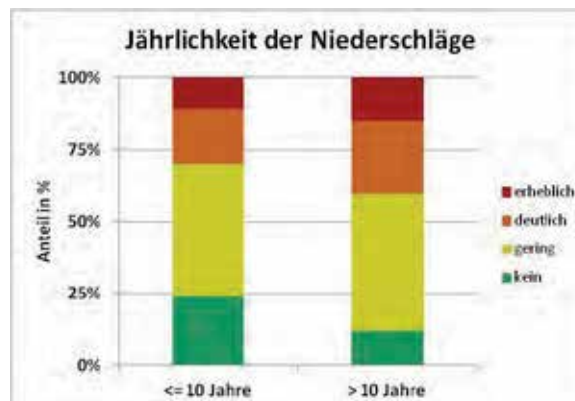


Abb. 30: Jährlichkeit der max. Stundenniederschläge und Erosionsschaden

#### 4.1.2 Verlauf der Niederschlagsintensität innerhalb eines Ereignisses

Nicht jeder Niederschlag mit hoher Intensität (z.B. 7 mm in 5 Minuten) führt zu einem erheblichen Erosionsschaden. Weitere Faktoren beeinflussen den möglichen Erosionsschaden, wie z.B. die Bodenbedeckung, die Reliefgestaltung etc. Eine wichtige Rolle kann auch der zeitliche Ablauf der Niederschlagsintensität während eines Starkregens spielen.

Abb. 31 zeigt exemplarisch den Verlauf der Niederschlagsintensität anhand von 5 Minuten-Niederschlägen während zwei verschiedenen Starkregenereignissen. Trotz vergleichbarer Rahmenbedingungen (Tab. 1) an den Standorten ist der Erosionsschaden in einem Fall gering, im anderen erheblich. Offensichtlich war das Infiltrationsvermögen des Bodens im Fall mit erheblichem Erosionsschaden schnell erschöpft und es kam zu Oberflächenabfluss, der bei anhaltendem Starkregen zu erheblichen Bodenabschwemmungen führte. Demgegenüber hatte der Boden im Fall mit den geringen Schäden nach dem ersten Niederschlagspeak 10 Minuten Zeit für die Versickerung, der zweite Peak war zu kurz, um den Oberflächenabfluss in großem Umfang in Gang zu setzen. Zudem nimmt die Wasserleitfähigkeit mit der Bodenfeuchte zu. Der angefeuchtete Boden leitet das Wasser besser als der trockene.



Abb. 31: Verlauf der Niederschlagsintensität bei zwei Mais-Feldstücken mit geringem und erheblichem Erosionsschaden

Tab. 1: Erosionsbestimmende Faktoren der Maisfelder aus Abb. 31

Erosionsschaden	gering	erheblich
Zeitpunkt des Niederschlags	12. Mai	02. Mai
Max. 5 Minutenniederschlag	7,5 mm	7,1 mm
Max. Stundenniederschlag	15,9 mm	16,8 mm
Tagesniederschlag	35,4 mm	25 mm
Hanglänge	237 m	267 m
mittlere Hangneigung (50 % Perzentil)	10,9 %	13,0 %
75 % Perzentil	12,8 %	14,5 %
94 % Perzentil	17,4 %	16,7 %
Bodenschätzung	sL 4 D 55 47	L 5 D 56 52
KS-Wert	0,50	0,73
CC-Wasser-Klasse	1	2
Erosionsschutzmaßnahme	Mulchsaat mit Bodenbearbeitung	
Bodenbedeckung	< 10 %	< 10 %
KULAP-Maßnahme	nein	nein
Saatrichtung	quer	quer
bevorzugter Fließweg im Feld	nein	nein
Fremdwasserzufluss	nein	nein



## 4.2 Von Erosion betroffene Kulturen

Die Abb. 33 und Abb. 34 geben einen Überblick über die Verteilung der in den Monaten Mai und Juni dokumentierten Feldstücke auf die verschiedenen Kulturen und die Erosionsschadensklassen.

Insgesamt sind 4.240 Feldstücke mit Ackernutzung erfasst. Unter Winterungen fallen alle Wintergetreidearten und Raps (1.783 Feldstücke). Frühe Sommerungen sind alle Kulturen, die in Punkt 4.3 aufgeführt sind (448 Feldstücke), sonstige Reihenkulturen sind alle Reihenkulturen außer Mais (57 Feldstücke). 1.952 Feldstücke und damit 46 % aller dokumentierten Feldstücke waren mit Mais bestellt. Die Kulturartenverteilung (Abb. 32) spiegelt die Verhältnisse im Hauptuntersuchungsgebiet wider.

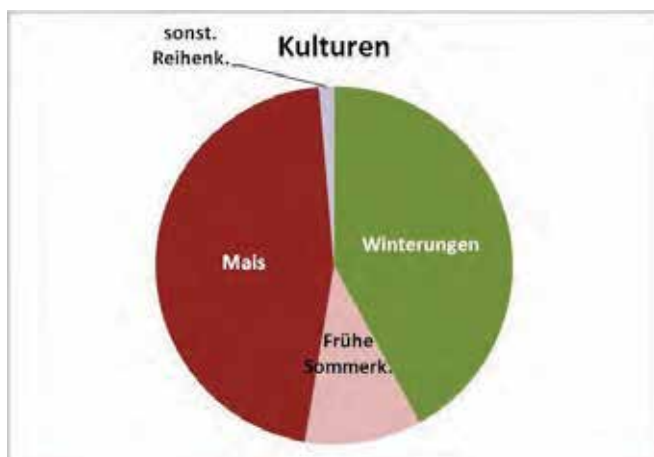


Abb. 32: Anteil der jeweiligen Kulturen auf den dokumentierten Feldstücken in Erosionsgebieten im Zeitraum Mai/Juni der Jahre 2011 und 2012

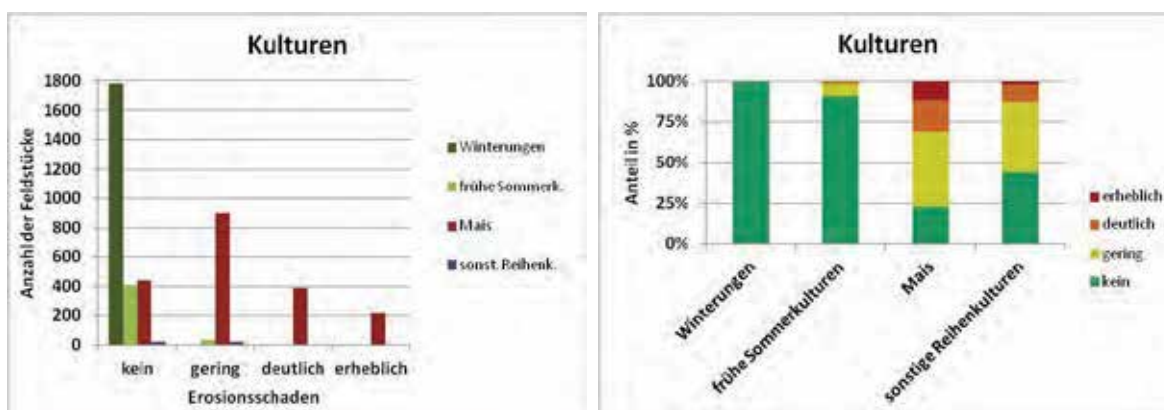


Abb. 33: Anzahl der Feldstücke nach Kultur und Erosionsschaden (Mai/Juni)      Abb. 34: Kulturen mit den anteiligen Erosionsschäden (Mai/Juni)

Winterungen wiesen im Zeitraum Mai/Juni keine erkennbaren Erosionsschäden auf (Abb. 33 und Abb. 34). Grund ist die fortgeschrittene Entwicklung der Kulturen im Mai/Juni mit sehr hoher Bodenbedeckung und guter Durchwurzelung.

Ein ähnliches Bild zeigen frühe Sommerkulturen, jedoch mit der Einschränkung, dass einzelne Feldstücke von geringer bzw. deutlicher Erosion betroffen waren. Die Gründe dafür sind in Kapitel 4.3 erläutert.

Dagegen sind über 75 % der Feldstücke mit Maisanbau von Erosion betroffen (siehe dazu die Bodenabtragsberechnungen in Abhängigkeit von der Maisanbaufläche in Bayern: BRANDHUBER & TREISCH 2012). Mit der hohen Anzahl von 1.952 Feldstücken sind bei Mais aussagekräftige Auswertungen mit entsprechenden Klassifizierungen möglich (Kapitel 4.4).

Bei sonstigen Reihenkulturen (Kartoffeln, Zuckerrüben) ist die Aussagekraft aufgrund der geringen Anzahl von nur 57 erfassten Feldstücken begrenzt. Die Auswertung stützt sich auf Einzelfälle.

### **4.3 Frühe Sommerkulturen**

Zu den frühen Sommerkulturen gehören nach ESchV Sommergetreide (außer Mais und Hirse), Erbsen, Ackerbohnen, Süßlupinen, sonstige Hülsenfrüchte (außer Sojabohnen), Sommerraps, Sommerrüben, Körnersenf, Körnerhanf, Leindotter, Heil-, Duft- und Gewürzpflanzen, Küchenkräuter, Faserhanf, Buchweizen, Amaranth, Quinoa, Klee, Klee-gras, Luzerne, Klee-/Luzernegras-Gemisch, Ackergras, Grünlandeinsaat, Radieschen, Rettich, Salate, Möhren, Petersilie, Pastinaken, Spinat, Einsaat von freiwillig stillgelegter Ackerfläche insbesondere im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen.

Der Anteil von frühen Sommerkulturen an der Ackerfläche Bayerns ist - mit regionalen Unterschieden - vergleichsweise gering. Sommergerste nimmt mit ca. 117.000 ha im Jahr 2011 (Bayerischer Agrarbericht 2012) noch den größten Flächenanteil ein (knapp 6 % der Ackerfläche). Im Projektgebiet ist der Anteil niedriger als im bayerischen Durchschnitt.

Ausschlaggebendes Kriterium für den Erosionsschaden bei frühen Sommerungen ist der Niederschlagszeitpunkt. Frühe Gewitterregen (Anfang Mai) treffen auf noch schwach entwickelte Bestände. Die Bestandesentwicklung und damit die Bodenbedeckung nimmt im Verlauf des Monats Mai sehr schnell zu.

#### **4.3.1 Sommergerste, Hafer**

Alle Sommergetreideflächen mit deutlichem bzw. erheblichem Bodenabtrag waren Anfang Mai von einem Starkregen betroffen. Ab Mitte Mai zeigte kein Feldstück mehr einen Bodenabtrag im Ausmaß wie auf Abb. 35 zu erkennen.

Abb. 35 bildet eine der am stärksten betroffenen Sommergerstenflächen ab, die Erosionsspuren sind als „deutlich“ eingestuft. Bei der Vorort-Beurteilung waren die Erosionsrillen auf der Sommergerstenfläche maximal bis zu 4 cm tief. Am Niederschlag war auch Hagel beteiligt (laut Angaben des Landwirts).

Insgesamt zeigen Feldstücke mit Sommergetreide geringere Erosionsschäden als vergleichbare Maisflächen. Grund für die bessere Erosionsschutzwirkung ist der frühe Saattermin in Verbindung mit dem geringen Reihenabstand, beides führt zu einem schnellen Reihenschluss.



Abb. 35: Sommergerste mit Erosionsschäden, 10.05.2012

Abb. 36: Situation vor Ort am 08.05.2012

Niederschlagsdaten zu Abb. 35 und Abb. 36

Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stunden-niederschlag	max. 5-Minuten-Niederschlag	mittlere Hang-neigung (50% Perzentil)	Hanglänge
03.05.2012	41 mm	35 mm	5,5 mm	11,6 %	291 m

### 4.3.2 Ackerbohnen, Sojabohnen und Erbsen

Großkörnige Körnerleguminosen haben eine geringere Pflanzenzahl pro m<sup>2</sup> als Sommergetreide. Der geringe Bodenbedeckungsgrad nach der Saat macht die Kultur bis zum Schließen der Reihen grundsätzlich erosionsanfällig. Im Vergleich zu Mais erfolgt der Reihenschluss jedoch deutlich früher.

Dokumentiert wurden 54 Feldstücke mit Anbau von Körnerleguminosen. Geringe und deutliche Erosionsschäden waren auf 14 Feldstücken feststellbar.

Ein Beispiel zeigt Abb. 37 und Abb. 38. Eine Besonderheit ist dort, dass es durch Erosion im oberliegenden Maisfeld in Richtung des blauen Pfeils zu einer Bodenverlagerung aus dem Maisfeld in die Erbsen gekommen ist. Mit dem Boden hat sich das Maisherbizid in der Erbsenfläche abgelagert und zu Schäden an den Erbsen geführt.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
02.05.2012	31 mm	24 mm	10,8 mm

Abb. 37: Erbsenfläche mit geringen Erosionsschäden



Abb. 38: Herbizidschaden in Erbsen durch Abschwemmung aus dem angrenzenden Maisfeld, 06.06.2012

### 4.3.3 Sonstige frühe Sommerkulturen

Für die sonstigen Sommerkulturen gelten die gleichen Grundsätze. Entscheidend für die Erosionsgefährdung ist der Niederschlagszeitpunkt. Ist dieser vor dem Reihenschluss, so kann es in Einzelfällen auch zu einem erheblichen Erosionsschaden kommen.

Abb. 39 zeigt beispielhaft eine Feldstück mit Buchweizen. Auf dem Luftbild erkennt man die Spuren der Abschwemmungen im Feld (Bildmitte) und zusätzlich einen Wasserzufluss aus der angrenzenden Maisfläche (links unten). Obwohl der Bodenbedeckungsgrad auf der Buchweizenfläche höher ist als auf den umliegenden Maisfeldern, ist es dennoch zu erheblichen Abschwemmungen gekommen. Wäre der auslösende Niederschlag zwei Wochen später gefallen, hätte der Buchweizenbestand mit weitgehend geschlossenen Reihen eine bedeutend bessere Erosionsschutzwirkung erzielt.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
20.05.2011	29 mm	17 mm	8,0 mm

Abb. 39: Buchweizenfeld mit erheblichem Erosionsschaden, 26.05.2011





Abb. 40: Buchweizenfeld aus obigem Luftbild am 16.06.2011

## 4.4 Mais

Die hohe Anzahl von 1.952 dokumentierten Feldstücken mit Maisanbau erlaubt eine differenzierte Analyse der Effekte verschiedener Erosionsschutzmaßnahmen und erosionsbeeinflussender Faktoren.

### 4.4.1 Maismulchsaat mit Saatbettbereitung

Die häufigste Erosionsschutzmaßnahme auf Maisflächen ist die Einsaat einer Zwischenfrucht, die im Frühjahr im Rahmen der Gülleausbringung und Saatbettbereitung mehr oder weniger intensiv eingearbeitet wird (Mulchsaat mit Saatbettbereitung).

Abb. 41 zeigt eine Fläche mit deutlich sichtbarer Mulchauflage. Die Bodenbedeckung beträgt ca. 15 %. Mulchauflagen mit einem Bodenbedeckungsgrad über 15 % (nach der Maissaat) wurden allerdings nur in wenigen Flächen angetroffen. Drei Viertel der 128 vor Ort bewerteten Feldstücke mit Mais-Mulchsaat mit Saatbettbereitung wiesen eine Bodenbedeckung von unter 10 % auf. Dabei ist zu beachten, dass die Bodenbedeckung in vor Ort schnell einzuschätzenden Klassen erhoben werden musste. Unterhalb von 10 % Bodenbedeckung fand keine Differenzierung mehr statt. Die Bodenbedeckung in der Klasse < 10 % dürfte im Schnitt nur bei ca. 5 % liegen.

Gründe für die geringe Mulchauflage können sein

- eine zu späte Zwischenfruchtsaat,
- ungünstige Witterungsbedingungen im Sommer bzw. Herbst,
- intensive und mehrfache Bodenbearbeitung vor der Saat (z.B. mit der Kreiselegge).

Ausschlaggebend ist häufig die Bodenbearbeitung vor der Maissaat. Steht dem Betrieb Technik zur Verfügung, um die Gülle mit Injektionsverfahren in den Boden zu bringen, so ist dieses Verfahren der üblichen Ausbringung vorzuziehen. Ziel muss sein, eine so hohe Bodenbedeckung wie möglich für die kritische Zeit im Mai und Juni zu erhalten.

Im Beispiel von Abb. 41 bot die vorhandene Bodenbedeckung von 15 % ausreichenden Erosionsschutz. Die Niederschlagsintensität war allerdings mit einem maximalen Stundenniederschlag von 19 mm und einem maximalen 5 Minutenniederschlag von 4,4 mm nicht sehr hoch. Laut KOSTRA-DWD 2000 ist in diesem Gebiet alle 10 Jahre mit einem Stundenniederschlag von 32 mm und einem 5 Minutenniederschlag von 11,3 mm zu rechnen. Deshalb müsste es das Ziel sein, einen noch höheren Bodenbedeckungsgrad zu erreichen.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
22.05.2012	34 mm	18,6 mm	4,4 mm

Abb. 41: Mulchsaat mit Saatbettbereitung, geringe Erosionsschäden, 23.05.2012





Abb. 42: Typische Mulchsaat mit Saatbettbereitung und geringer Bodenbedeckung, 03.06.2011

Abb. 43: Mulchsaat mit Saatbettbereitung und hoher Bodenbedeckung, 23.05.2012

Die Abb. 42 und Abb. 43 zeigen die Spannweite der Bodenbedeckung und somit auch die möglichen Schutzeffekte von Mulchsaat mit Saatbettbereitung.

Bei der Vor-Ort-Beurteilung ist aufgefallen, dass ein Bodenbedeckungsgrad von 30 % nach der Maissaat so gut wie nie erreicht wurde (s. Abb. 44). Datengrundlage der Graphiken (Abb. 44 und Abb. 45) sind alle 128 vor Ort beurteilten Maisflächen, die im Zeitraum Mai/Juni in einem Erosionsgebiet lagen. Eine Bodenbedeckung über 30 % wies nur 1 Feldstück auf. Die tatsächliche Bodenbedeckung in der Klasse bis 10 % liegt bei durchschnittlich ca. 5 %. In der Klasse 10 – 30 % liegt die Bodenbedeckung bei den meisten Feldstücken nur wenig über 10 %.

Eine Schutzwirkung der etwas höheren Bodenbedeckung (> 10 % gegenüber < 10 %) ist dennoch gegeben, wie die Auswertung zeigt (Abb. 45).



Abb. 44: Anzahl der Feldstücke nach Bodenbedeckung und Erosionsschaden

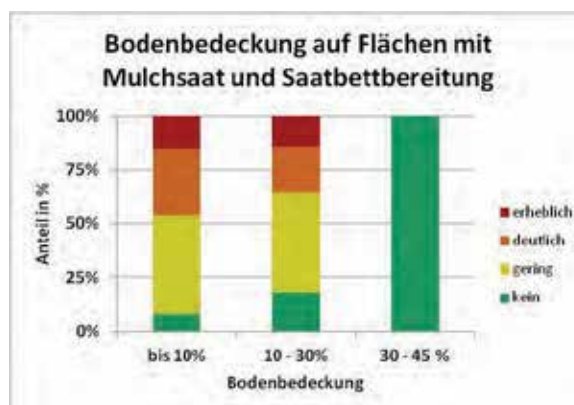


Abb. 45: Bodenbedeckung und Erosionsschaden





Abb. 46: Zwischenfruchtmulch im Nachbarfeld, 29.04.2013



Abb. 47: Mit Senfmulch verstopfter Durchlass, 29.04.2013

Bei der Saatbettbereitung zerkleinerter Zwischenfruchtmulch kann leicht vom Oberflächenabfluss mitgerissen werden, insbesondere dann, wenn die Maispflanzen noch nicht soweit entwickelt sind, dass sie Barrieren bilden könnten, die den Mulch auffangen (siehe Kapitel 4.4.8, Abb. 69). Der Mulch bleibt liegen, wenn die Schleppkraft des Abflusses erlahmt ist (Abb. 46). Gelangt der Mulch in Gräben, so kann es zur Verstopfung von Durchlässen kommen und infolgedessen zu Ausuferungen (Abb. 47).

In den Beispielen der Abb. 46 und Abb. 47 erfüllte die Mulchauflage im Feld dank ausreichender Bodenbedeckung durchaus ihre Funktion zum Erosionsschutz, Boden wurde nicht in größerem Umfang verlagert.

Die Alternative, den Mais direkt ohne Saatbettbereitung zu bestellen, bietet nicht nur bestmöglichen Erosionsschutz, auch das Risiko, dass Zwischenfruchtmulch Durchlässe blockiert, ist dann gering.

#### 4.4.2 Maismulchsaat ohne Saatbettbereitung

Ein in der Praxis bisher wenig verbreitetes aber hoch wirksames Verfahren zum Erosionsschutz ist die Mulchsaat ohne Saatbettbereitung (SCHMIDT et al. 2013; NITSCHKE et al. 2002). Während der Projektlaufzeit wurden nur wenige Fälle erfasst, sodass die Wirkung nur an Beispielen gezeigt werden kann.

Die aus mehreren Luftbildern zusammengesetzte Abb. 48 belegt die Wirkung einer Maismulchsaat ohne Saatbettbereitung im Vergleich zu direkt angrenzenden Feldern mit Zwiebeln und Mais jeweils ohne Erosionsschutz. Auf der Maisfläche ohne Saatbettbereitung ist in der Tiefenlinie eine Erosionsrinne zu erkennen. Entstanden ist diese Rinne durch Wasserzufluss aus dem oberhalb gelegenen Zwiebel- und Maisfeld ohne Erosionsschutz. Bis auf diesen Wasserzufluss ist keine Erosion im Maisfeld mit Mulchsaat ohne Saatbettbereitung aufgetreten.

Im Zwiebelfeld ist der Boden aufgrund des sehr feinen Saatbetts stark verschlammte, es setzt Rillenerosion ein, die sich in der Maisfläche ohne Erosionsschutz zu Erosionsrinnen verstärken. Dort hat das gröbere Saatbett eine vergleichbar starke Verschlämmung verhindert.

In Tab. 2 sind weitere Informationen zu dem Beispiel zusammengefasst. Die Fläche mit Mulchsaat ohne Saatbettbereitung weist eine mittlere Hangneigung von 9,8 % auf, im Vergleich dazu liegt selbst das 94 % Perzentil der beiden anderen Flächen mit 7,3 % und 9,6 % unter der mittleren Hangneigung der Mulchsaatfläche ohne Saatbettbereitung. Auch die Hanglänge ist auf der Mulchsaatfläche ohne Saatbettbereitung deutlich größer als auf den beiden Flächen ohne Erosionsschutz. Um die Regenenergie aufzunehmen, ist die Bodenbedeckung von entscheidender Bedeutung, diese liegt auf der Mulchsaatfläche ohne Saatbettbereitung mit 38 % über der 30 %-Schwelle.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
22.05.2012	38 mm	21 mm	4,6 mm

Abb. 48: Maismulchsaat ohne Saatbettbereitung im Vergleich zu Zwiebeln und Mais ohne Erosionsschutz, 27.05.2012

Tab. 2: Daten zur Erosionsgefährdung der Felder von Abb. 48

	Mulchsaat ohne Saatbettbereitung	Mais ohne Erosionsschutz	Zwiebeln
KS-Wert	0,48	0,28	0,28
mittlere Hangneigung (Median)	9,8 %	5,4 %	5,9 %
75 % Perzentil	11,8 %	6,9 %	8,5 %
94 % Perzentil	15,1 %	7,3 %	9,6 %
maximale Hanglänge	388 m	254 m	274 m
Bodenbedeckung	ca. 38 %	0 %	0 %

Maismulchsaat ohne Saatbettbereitung bietet sich für alle Betriebe, die keine organischen Dünger auf die Maisflächen ausbringen müssen und mindestens eine zweigliedrige Fruchtfolge haben, als Verfahren der Wahl an.

Sobald Gülle auf die Maisflächen ausgebracht werden muss, ist es schwierig, diese ohne Bodenbearbeitung einzuarbeiten. Hier sollte auf Injektionsverfahren gesetzt werden. Die Mulchauflage wird nur geringfügig verringert, der Schutz vor Erosion bleibt weitgehend erhalten.

Um Probleme bei der Etablierung des Bestandes zu vermeiden, ist es besonders wichtig, dass zur Saat trockene Bedingungen herrschen. Ist es zu feucht, wird die Mulchschicht vom Scheibensech nicht sauber durchgeschnitten und die Saatqualität leidet. Da man auf eine mechanische Bodenlockerung verzichtet, müssen Bodenverdichtungen vermieden werden. Ein übliches mulchsaattaugliches Einzelkornsäugerät reicht auf schweren Böden nicht immer aus, um eine gleichbleibende Saattiefe sicherzustellen. Dazu ist ein höherer Schar- druck nötig, wie sie Direktsaatgeräte besitzen (SCHMIDT et al. 2013).

Abb. 49 zeigt ein Feld mit abgefrorenem Zwischenfruchtbestand (Saatmischung) Ende April mit optimalem Erosionsschutz vor der Maissaat. Um diesen bis zum Sommer aufrecht zu erhalten, muss zur Maissaat direktsaattaugliche Sätechnik eingesetzt werden.



Abb. 49: Zwischenfrucht mit 100%iger Bodenbedeckung nach einem Starkregen, 29.04.2013



Abb. 50: Mais nach Mulchsaat ohne Saatbettbereitung nach einem Starkregen, 19.06.2012

#### 4.4.3 KULAP-Mulchsaat bei Mais

Im Rahmen des Bayerischen Kulturlandschaftsprogramms (KULAP) wird die Mulchsaat vor Reihenkulturen als Maßnahme zum Erosionsschutz gefördert (A33).

Anhand des umfassenden Datensatzes von 1.952 Feldstücken mit Maisanbau wurde folgende Auswertung vorgenommen. Klassifiziert wurde nach Feldstücken mit und ohne KULAP-Mulchsaat. Nicht berücksichtigt sind in dieser Auswertung Mulchsaaten ohne Förderung, diese fallen in die Kategorie „ohne Mulchsaat“. In den folgenden Tabellen (Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5) sind weitere Informationen zu den Klassen mit und ohne KULAP-Mulchsaat zusammengefasst: mittlere Hangneigung, Hanglänge und Bodenbedeckung.

Die Gegenüberstellung der Klassen mit und ohne KULAP-Mulchsaat (Abb. 52) belegt eine erosionsmindernde Wirkung der KULAP-Mulchsaat. Deutliche und erhebliche Schäden treten weniger häufig auf und dies bei im Mittel etwas höherer Hangneigung und Hanglänge.

Dass dennoch viele KULAP-Mulchsaatflächen Erosionsschäden aufweisen, liegt an der häufig geringen Bodenbedeckung (siehe Kapitel 4.4.1). Bei der Vor-Ort-Beurteilung lag der Bedeckungsgrad der 102 KULAP-Mulchsaatflächen in 75 % der Fälle unter 10 % (real im Schnitt bei 5 %). In der Klasse „ohne KULAP-Mulchsaat“ lag der Bedeckungsgrad in 93 % der Fälle unter 10 %.

Abb. 53 und Abb. 54 zeigen denselben Vergleich, allerdings eingeschränkt auf Maisfeldstücke, die in CC-Wasser 1 oder 2 eingestuft sind. Der Unterschied zwischen den Klassen „ohne“ und „mit KULAP-Mulchsaat“ kommt hier noch etwas pointierter zum Ausdruck.

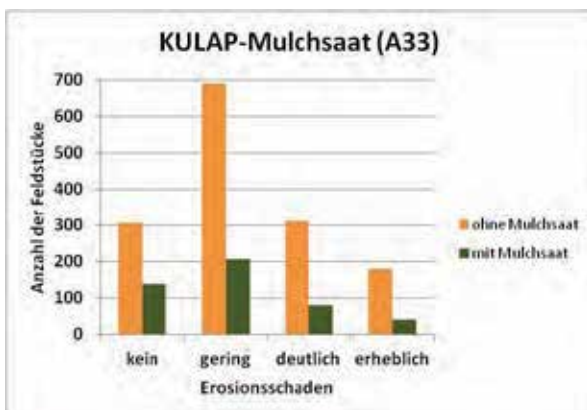


Abb. 51: Anzahl der Feldstücke nach KULAP-Mulchsaat und Erosionsschaden (Maisflächen)

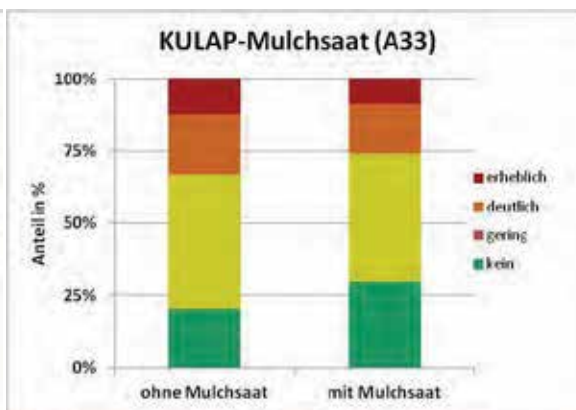


Abb. 52: KULAP-Mulchsaat (Maisflächen) und Erosionsschaden



Tab. 3: Mittlere Hangneigung und KULAP-Mulchsaat

Erosionsschaden	Hangneigung (%)	
	ohne Mulchsaat	mit Mulchsaat
kein	6,6	7,7
gering	7,7	9,0
deutlich	8,9	9,7
erheblich	10,0	10,5
<i>Mittelwert</i>	8,0	8,9

Tab. 4: Mittlere Hanglänge und KULAP-Mulchsaat

Erosionsschaden	Hanglänge (m)	
	ohne Mulchsaat	mit Mulchsaat
kein	126	162
gering	161	187
deutlich	207	226
erheblich	227	256
<i>Mittelwert</i>	171	192

Tab. 5: Bodenbedeckung und KULAP-Mulchsaat

Erosionsschaden	Bodenbedeckung unter 10 %	
	ohne Mulchsaat (%)	mit Mulchsaat (%)
kein	96	42
gering	89	74
deutlich	94	85
erheblich	97	81
<i>Mittelwert</i>	93	75



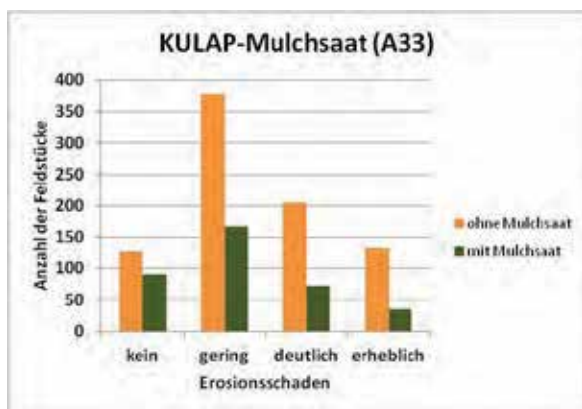


Abb. 53: Anzahl der Feldstücke nach KULAP-Mulchsaat und Erosionsschaden (nur CC-Wasser 1 und 2)

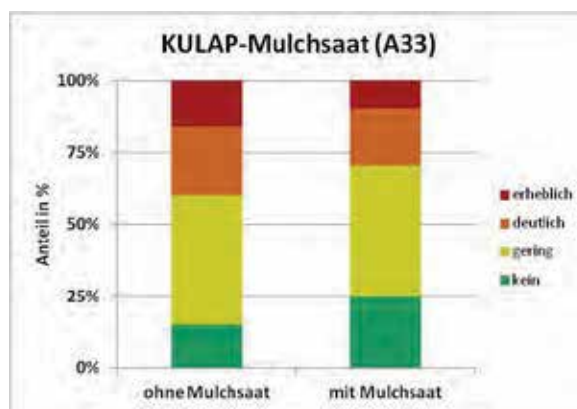


Abb. 54: KULAP-Mulchsaat (nur CC-Wasser 1 und 2) und Erosionsschaden

Festzuhalten bleibt, dass das Potenzial der Mulchsaat zum Erosionsschutz in der Praxis überwiegend nicht ausgeschöpft wird, weil nach intensiver Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung zu wenig Mulchmaterial auf den Flächen verbleibt. Dass es unter diesen Bedingungen zu Bodenerosion kommen kann, zeigt das Beispiel in Abb. 55.



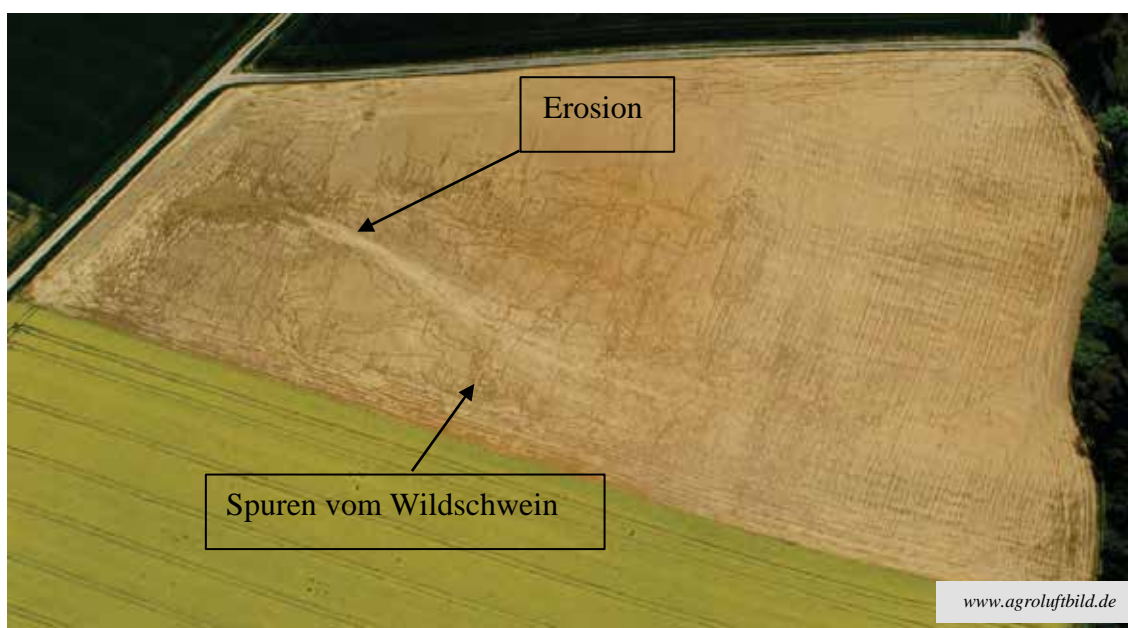
Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stunden-niederschlag	max. 5-Minuten-Niederschlag	Bodenbedeckung
20.05.2011	30 mm	19 mm	8,0 mm	< 5 %

Abb. 55: Deutliche Erosionsspuren trotz KULAP-Mulchsaat, 26.05.2011

#### 4.4.4 Temporäre Grünstreifen in Maisfeldern: CC-Streifen

Temporäre Grünstreifen in Maisfeldern, die die Kriterien der Cross Compliance-Bestimmungen nach ESchV erfüllen („CC-Streifen“), wurden im Rahmen des Projekts nur in geringem Umfang vorgefunden.

Voraussetzung für eine erosionsmindernde Wirkung der Streifen ist zunächst die Platzierung quer zum Hang. Außerdem ist der Aussaatzeitpunkt von Bedeutung, je früher eingesät wird, umso schneller kann der Streifen eine bremsende Wirkung erzielen. Bei später Saat und frühem Starkregen (Anfang Mai) ist der CC-Streifen möglicherweise noch nicht aufgelaufen (siehe Abb. 56). Ein weiterer Punkt ist, ausreichend Saatgut zu verwenden, um einen möglichst dichten Streifen zu erhalten. Bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln im Bestand ist darauf zu achten, dass der CC-Streifen ausgespart wird.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Minutenniederschlag
02.05.2012	54 mm	47 mm	14,6 mm

Abb. 56: Maisfläche mit Wildschweinschaden und mit eingesätem aber noch nicht aufgelaufenem CC-Streifen, 10.05.2012

CC-Streifen, die all diese Kriterien erfüllen, sind in der Praxis selten zu finden. Häufiger sind CC-Streifen, auf denen ein oder mehrere der oben genannten Kriterien nicht erfüllt sind. Die Wirkung verringert sich dann mit jedem unerfüllten Kriterium.

Auch wenn die Kriterien erfüllt sind, können die CC-Streifen abgeschwemmten Boden nur in begrenztem Umfang aufhalten. Weil der Streifen nicht mit einer Verringerung der Hangneigung verbunden und vergleichsweise schmal ist, fließt der Oberflächenabfluss durch den Streifen und nimmt dahinter wieder Boden mit. Ist im Feldstück eine Tiefenlinie, in der sich der Wasserfluss konzentriert und trifft dieser auf den CC-Streifen, so hat der Streifen keine Wirkung mehr.

Abb. 57 zeigt einen richtig platzierten und gut entwickelten CC-Streifen. Es ist zu erkennen, dass der Streifen eine gewisse Wirkung bei Flächenerosion hat. Sobald sich aber der Abfluss konzentriert, geht die Wirkung verloren.

Die Tiefenlinie, möglicherweise ein ehemaliger Feldweg, fungiert als episodisches Fließgewässer. Es ist deutlich ein Wasserzufluss aus der oberhalb gelegenen Blühfläche zu erkennen. Das Problem, dass auf diesem Weg Boden und Nährstoffe in größerem Umfang aus dem Feld ausgetragen werden, ist mit einem CC-Streifen nicht lösbar. Dazu müsste man die Tiefenlinie dauerhaft begrünen.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
12.05.2011	18 mm	11 mm	4,6 mm

Abb. 57: Erosionsschutzstreifen, 18.05.2011



#### 4.4.5 Sonstige temporäre Grünstreifen zum Erosionsschutz

Vereinzelt legen Landwirte in Eigeninitiative temporäre Erosionsschutzstreifen in Maisfeldern an, die mit Blick auf deren Breite, Abstand zueinander und Verteilung im Feldstück nicht den CC-Vorgaben entsprechen. Diese Streifen platziert der Landwirt meist an aus Erfahrung bekannten kritischen Stellen. Die Wirkung dieser Grünstreifen hängt grundsätzlich von den gleichen Kriterien ab, wie sie für CC-Streifen gelten.

Ein durchaus positives Beispiel zeigt Abb. 58, es handelt sich um einen insgesamt 3 m breiten Doppelstreifen bestehend aus zwei ca. 1 m breiten Gerstenstreifen, die im Abstand von 1 m angelegt wurden. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Landwirt die Streifen sinnvoll platziert hat. An dem besonders steilen Teilstück sind die Abstände zwischen den Doppelstreifen auf ca. 10 m verkürzt. Dies verbessert die Filterwirkung.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stunden-niederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag	Hangneigung %			Hanglänge
				50	75	94	
02.05.2012	44 mm	36 mm	11,5 mm	8,2	10,5	14,6	166 m

Abb. 58: Streifen zum Erosionsschutz, nicht CC-konform, 10.05.2012

#### 4.4.6 Pflugverzicht vor Mais

Eine Möglichkeit, die CC-Verpflichtungen zum Erosionsschutz vor Reihenkulturen zu erfüllen, ist der Verzicht auf den Pflugeinsatz. Der erwartete Effekt zum Erosionsschutz liegt in der Bodenbedeckung mit dem Stroh der Vorfrucht und den vielfach beschriebenen Verbesserungen der Aggregatstabilität und des Infiltrationsverhaltens bei dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung (SCHMIDT et al 2013; DWA, 2012; LEYS et al, 2010).

Die Vor-Ort-Beurteilung ergab jedoch, dass nicht gepflügte Flächen häufig mit dem Grubber intensiv gelockert worden waren und nach der Maissaat nur sehr wenige Strohrreste auf der Bodenoberfläche verblieben. Teilweise verhinderten bei der Ernte der Vorfrucht entstandene Bodenverdichtungen die Infiltration von Niederschlägen. In diesen Fällen erzielte der Pflugverzicht nicht die gewünschte Wirkung zum Erosionsschutz.

Abb. 59 und Abb. 60 bilden jeweils einen Flächenausschnitt mit Pflugverzicht vor der Maissaat ab. Auf Abb. 59 bietet die vorhandene Bodenbedeckung ausreichenden Schutz. Dagegen sind auf Abb. 60 trotz Pflugverzicht keine Pflanzenreste erkennbar.



Abb. 59: Pflugverzicht vor Mais, gute Bodenbedeckung, 04.06.2012

Abb. 60: Pflugverzicht vor Mais, keine Bodenbedeckung, 25.07.2012

#### 4.4.7 Vergleich: CC-Streifen, Mulchsaat, Pflugverzicht

Die oben vorgestellten und im Sinne von DirektZahlVerpflV und ESchV CC-konformen Erosionsschutzmaßnahmen in Maisfeldern, nämlich CC-Streifen, Mulchsaat und Pflugverzicht vor Reihenkulturen, wurden folgend anhand der Erosionsschadensklassen bewertet. Grundlage für die Auswertung sind alle CC-Wasser 1 und 2 - Feldstücke mit Mais, die im Zeitraum Mai/Juni dokumentiert wurden. Einschränkend ist auf die teils geringe Anzahl der Fälle in den Klassen hinzuweisen.

Abb. 63 zeigt die Anzahl der Feldstücke mit der jeweiligen Erosionsschutzmaßnahme in Verbindung mit der Erosionsschadensklasse.

Die Zuordnung „kein Erosionsschutz erkennbar“ wurde vergeben, wenn bei der Vor-Ort-Beurteilung kein Erosionsschutz festgestellt werden konnte, wie im Fall von Abb. 61, ein Feldstück mit Mais. Auf dem Luftbild (Aufnahmedatum 18.05.2011) war kein CC-Streifen erkennbar. Vor Ort (Foto vom 31.05.2011, Abb. 62) war kein Mulch vorhanden, der auf eine Mulchsaat hätte schließen lassen, und auch keine Reste der Vorfrucht, die auf einen Pflugverzicht hingewiesen hätten.





Abb. 61: Luftbild einer Maisfläche ohne Erosionsschutzmaßnahme, 18.05.2011



Abb. 62: Mais ohne Erosionsschutzmaßnahme, 31.05.2011

In der Auswertung (Abb. 64) zeigt sich zunächst die erwartete Differenzierung zwischen „kein Erosionsschutz“ und den drei Schutzmaßnahmen. Auffällig ist die geringe Wirkung beim Verzicht auf das Pflügen. Die Ursachen (geringe Bodenbedeckung nach intensiver Bodenbearbeitung, Verdichtungen) wurden in Kapitel 4.4.6 bereits diskutiert. Mulchsaat zeigt zwar die beste Wirkung, setzt sich aber wegen der geringen Bodenbedeckung nicht eindeutig von den CC-Streifen ab (siehe Kapitel 4.4.1. und 4.4.4).

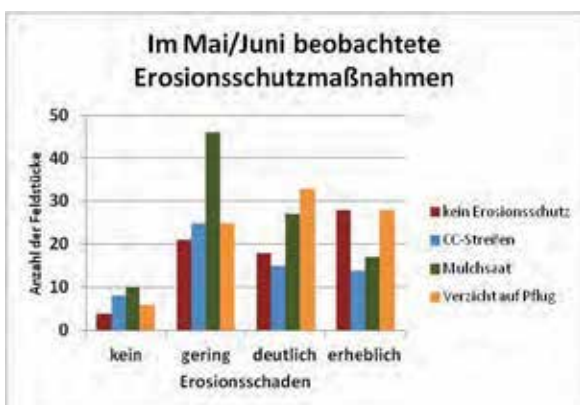


Abb. 63: Anzahl der Feldstücke nach Erosionsschutzmaßnahme und Erosionsschaden

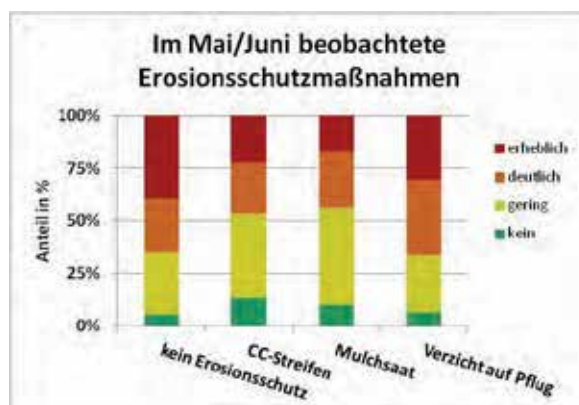


Abb. 64: Erosionsschutzmaßnahmen und Erosionsschaden

#### 4.4.8 Bewirtschaftungsrichtung

Mit der Bewirtschaftung quer zum Hang sind die CC-Verpflichtungen auf CC-Wasser 1 Flächen erfüllt. Im Projekt wurde die Saatrichtung erfasst und als Kriterium für die Bewirtschaftungsrichtung verwendet.

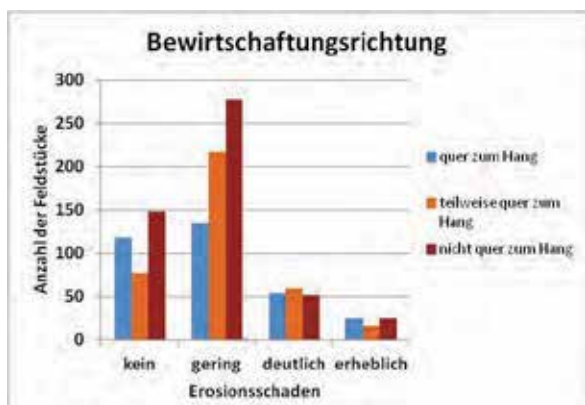


Abb. 65: Anzahl der Feldstücke nach Bewirtschaftungsrichtung und Erosionsschaden

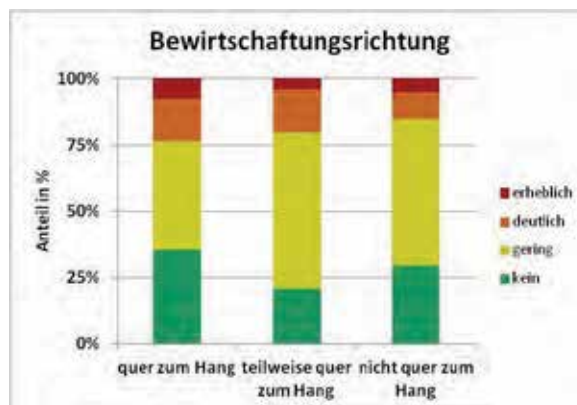


Abb. 66: Bewirtschaftungsrichtung und Erosionsschaden

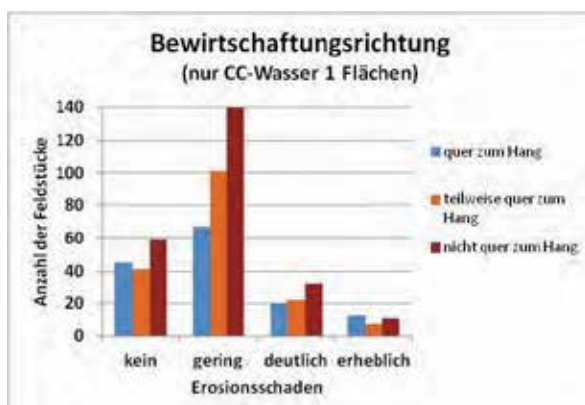


Abb. 67: Anzahl der Feldstücke nach Bewirtschaftungsrichtung und Erosionsschaden nur CC-Wasser 1 - Flächen

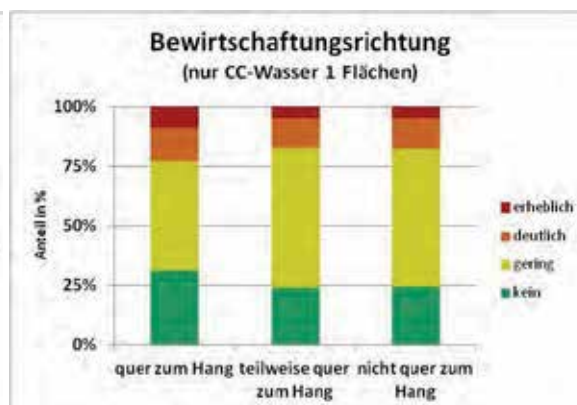


Abb. 68: Bewirtschaftungsrichtung und Erosionsschaden, nur CC-Wasser 1 - Flächen

Die Auswertung in Abb. 65 und Abb. 66 umfasst alle Feldstücke mit Maisanbau ohne Fremdwasserzufluss und ohne ausgeprägte Tiefenlinien. Abb. 67 und Abb. 68 schränken weiter auf CC-Wasser 1 - Feldstücke ein.

Zu beachten ist: Die mittlere Hangneigung ist auf quer eingesäten Flächen höher als auf nicht quer gesäten Flächen (9 % gegenüber 7,8 % Hangneigung im Datensatz aller Maisfeldstücke). Der Bodenbedeckungsgrad ist bei beiden Saatrichtungen niedrig (weniger als 10 % Bodenbedeckung in ca. 85 % der Fälle im kompletten Datensatz).

Unter diesen Bedingungen (generell geringe Bodenbedeckung, höhere Hangneigung bei Querbewirtschaftung) sind Feldstücke mit Saatrichtung quer zum Hang keineswegs weniger von Erosionsschäden betroffen. Die höhere Hangneigung bewirkt vielmehr einen höheren Anteil an deutlichen und erheblichen Erosionsschäden. Lediglich in der Klasse „geringe Erosionsschäden“ zeigt sich eine gewisse Wirksamkeit.

Um eine gute erosionsmindernde Wirkung zu erzielen, müsste die Querbewirtschaftung mit Mulchsaat verbunden werden. Abb. 69 verdeutlicht die Wirkung der Querbewirtschaftung in Verbindung mit einer Mulchsaat mit Saatbettbereitung. Der Mulch aus Zwischenfruchtresten vernetzt sich mit den quer angebauten Maispflanzen und vermindert so Fließgeschwindigkeit und Schleppkraft des abfließenden Wassers.



Abb. 69: *Querbewirtschaftung in Verbindung mit Mulchsaat, 16.07.2012*

#### 4.4.9 Feldstücke unter 0,5 ha

In der bayerischen Erosionsschutzverordnung sind alle Flächen, die nicht größer als 0,5 ha sind, von den CC-Erosionsschutzverpflichtungen ausgenommen.

In der Dokumentation sind 82 derartige Feldstücke mit Maisanbau erfasst. Wie zu erwarten wurden auch auf kleinen Flächen Spuren von Erosion gefunden. Diese waren aber bei weitem nicht so häufig und stark ausgeprägt wie auf größeren Feldstücken (siehe Abb. 73). Um Bodenabschwemmungen auszulösen, muss Wasser im Feld fließen, dazu ist je nach Niederschlagsintensität eine bestimmte Hanglänge erforderlich. Flächen unter 0,5 ha weisen nur geringe Hanglängen auf, die Niederschlagsintensität muss sehr hoch sein, um den Boden trotzdem in Bewegung zu bringen. Wird ein sehr kleines Feldstück durch einen Rain nach unten begrenzt, kann die geringe abfließende Wassermenge gestoppt werden. Auf größeren Flächen sammelt sich dagegen das Wasser und überfließt womöglich den Feldrain.





Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
02.05.2012	28 mm	22 mm	8,5 mm

Abb. 70: Feldstück mit 0,41 Hektar und Erosionsspuren, 07.05.2012

#### 4.4.10 Große Feldstücke

Je größer das einheitlich bewirtschaftete Feld, desto größer ist die Wassermenge, die sich in einer Abflusslinie konzentrieren kann. Dieser Effekt wird insbesondere dann wirksam, wenn keine effektiven Maßnahmen zum Flächenschutz ergriffen wurden.

Abb. 71 belegt dies eindrücklich für eine insgesamt 37 ha große, nach zwei Seiten abfallende Maisfläche ohne ausreichenden Erosionsschutz. Die Einzugsgebiete der Hauptabflusslinien sind hier besonders groß. Es kam in diesem Fall zu deutlichen bis erheblichen Erosionsschäden, das Gemisch aus Wasser und Boden wurde durch natürliche Hindernisse nicht aufgehalten und gelangte teilweise auch auf die Straße. Ein Fruchtartenwechsel auf der Fläche (wie in den Jahren zuvor und im Jahr danach) hätte zumindest das Einzugsgebiet einzelner Abflussbahnen deutlich verringert.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
12.05.2011	27 mm	14 mm	9,0 mm

Abb. 71: Maisfläche mit ca. 36,8 Hektar, 18.05.2011

Die Feldstücksgröße hat bedeutenden Einfluss auf den Erosionsschaden, wie die Auswertung der Daten belegt (Abb. 72 und Abb. 73). Datenbasis sind wiederum alle Maisflächen, die im Zeitraum Mai/Juni in einem Gebiet mit Starkniederschlag lagen.

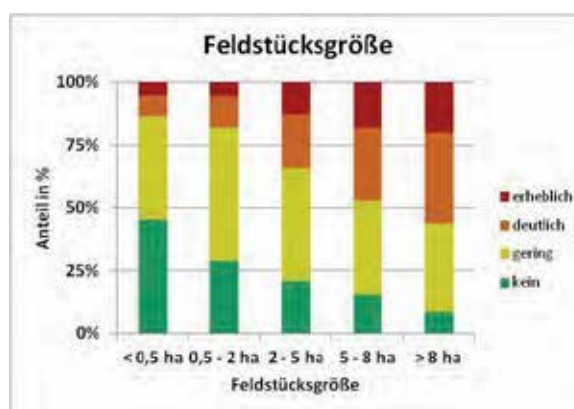
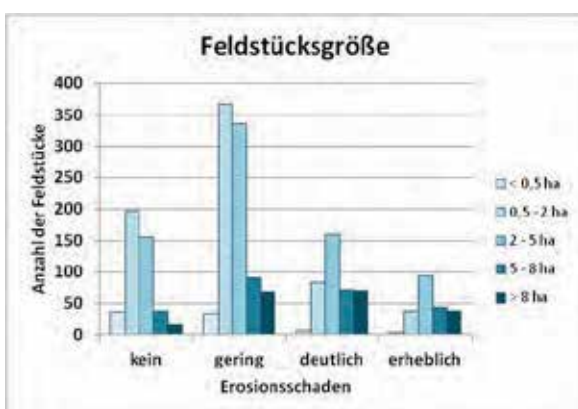


Abb. 72: Anzahl der Feldstücke nach Größe    Abb. 73: Feldstücksgröße und Erosionsschaden

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Bodenbedeckung nach der Maissaat in den beiden Projektjahren generell gering war, sodass der Effekt der Abflussakkumulation besonders ausgeprägt zum Tragen kommen konnte.



#### 4.4.11 Besonders lange und schmale Feldstücke

In der bayerischen Erosionsschutzverordnung werden lange (Länge/Breite > 3) und schmale (< 40 m) Feldstücke von CC-Wasser 2 auf CC-Wasser 1 zurückgestuft. Damit soll Fehleinstufungen vorgebeugt werden, die auf eine hier nicht ausreichende Auflösung des 10 m - Höhengitters zurückzuführen sind.

Die erosionsmindernde Wirkung von langen und schmalen Feldstücken ist denen von sehr kleinen Flächen ähnlich. Bei Bewirtschaftung quer zum Hang (Terrassenlage) ist das Erosionsrisiko gering. Erfolgt die Bewirtschaftung mit der Hangrichtung, vergrößert sich das Risiko von Erosionsschäden. Derartig gestaltete Fluren sind aber in Bayern nur selten anzutreffen. Sind die sehr schmalen Feldstücke durch Raine getrennt, so kann es zu keinem größeren seitlichen Zufluss kommen, was das Erosionsrisiko wiederum mindert.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
31.05.2011	48 mm	35 mm	8,0 mm

Abb. 74: Maisfeld (unten) mit Rückstufung von CC-Wasser 2 in Stufe 1 wegen ausgeprägter Länge und Breite, 03.06.2011

Das Luftbild von Abb. 74 umfasst drei Maisflächen, von denen das untere besonders lang und schmal ist und damit unter den Formfaktor fällt. Getrennt werden die drei Flächen durch bewachsene Feldwege. Auf den oberen beiden Feldstücken sind schwach entwickelte temporäre Grünstreifen erkennbar. Die Bewirtschaftung erfolgt quer zum Hang, am Vorgewende sind Erosionsspuren sichtbar, die durch Wasserzufluss aus dem Feldstück da-

rüber verursacht sind. Ansonsten sind auf dem langen und schmalen Feldstück keine Erosionsschäden vorhanden.

#### 4.4.12 Miststreifen

Mitunter sind auf den Luftbildern Miststreifen zu erkennen, häufig quer zum Hang und in Schlangenlinien (Abb. 75).

Da der Stallmist nach der Maissaat ausgebracht wird, liegt er auf der Fläche oben auf und hat keine Bindung zum Boden. Mit der Mistauflage wird die Bodenbedeckung nur punktuell erhöht. Bei Starkregen wird der Oberflächenabfluss im Bereich des Miststreifens nach den vorliegenden Beobachtungen nicht oder nur geringfügig aufgehalten (Abb. 76). Grundsätzlich besteht auch das Risiko, dass der aufliegende Stallmist abgeschwemmt wird und in ein Gewässer gelangt.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
12.05.2011	22 mm	22 mm	11,5 mm

Abb. 75: Miststreifen in Maisfeldern, 26.05.2011





Abb. 76: Vergrößerung des Miststreifens von Abb. 75, 26.05.2011



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
12.05.2011	19 mm	19 mm	7,5 mm

Abb. 77: Miststreifen in Nahansicht bei einer Vor-Ort-Beurteilung, 15.06.2011

#### 4.4.13 Wasserfurchen

In manchen Gegenden werden mit dem Pflug sog. Wasserfurchen angelegt mit dem Ziel, abfließendes Oberflächenwasser gezielt und schadlos aus dem Feld zu leiten und bereits abgeschwemmten Boden aufzuhalten. Die Wasserfurche aus Abb. 78 erzielte die gewünschte Wirkung, abgeschwemmter Boden hat sich in der Furche abgesetzt, der Furchendamm wurde nicht überspült. Diese Wirkung ist aber nur unter günstigen Umständen gegeben. Bei stärkeren Niederschlägen kann die Furche ausgespült oder durchbrochen werden. Abb. 79 zeigt ein Beispiel, wo der konzentrierte Abfluss am Ende der Furchen deutlichen Erosionsschäden verursacht hat.

Mit der Konzentration des Wasserabflusses ist ein erhöhtes Risiko von Schäden außerhalb des Feldstückes verbunden, ein geschädigter Unterlieger könnte ggf. die Schadensursache in Zusammenhang mit der Veränderung der Abflussverhältnisse bringen.

Wasserfurchen können Maßnahmen zum Flächenschutz nicht ersetzen.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
20.05.2011	24 mm	18 mm	8,0 mm

Abb. 78: Wasserfurche zum Erosionsschutz, 23.05.2011





Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
20.05.2011	21 mm	19 mm	5,5 mm

Abb. 79: Maisfeld mit Wasserfurchen, 26.05.2011

#### 4.4.14 Mais nach Klee grasumbruch

Nach Klee gras folgt in konventionellen Betrieben häufig Mais. Abb. 80 zeigt als Beispiel eine Maisfläche mit der Vorfrucht Klee gras, es sind deutlich die abgestorbenen Grasbüschel zu erkennen. Das Feld war offensichtlich flach gepflügt worden. Die faustgroßen Wurzelbüschel bilden eine raue Oberfläche und weisen eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Niederschlägen auf. Außerdem bremsen sie den Abfluss, so bleibt mehr Zeit für die Infiltration von Niederschlagswasser. Die Erosionsschutzwirkung ist vergleichbar einer Mulchsaat mit Saatbettbereitung.





Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
12.05.2011	35 mm	15 mm	6,3 mm

Abb. 80: Mais nach Klee grasumbruch, 31.05.2011

#### 4.4.15 Mais in Engsaat

Mitunter wird Mais nicht als Reihenkultur angebaut, sondern in „Engsaat“ mit einem Reihenabstand unter 45 cm. In CC-Wasser 2 gilt dann der Engsaat-Mais nicht als Reihenkultur, nach dem 15.2. dürfte der Pflug eingesetzt werden. Die Verpflichtungen zum Pflugverzicht nach der Vorfrucht bzw. zur Einsaat einer Zwischenfrucht bleiben aber bestehen.

Vor Ort wurden in zwei Erosionsgebieten einige Flächen mit Mais-Engsaat vorgefunden. Abb. 81 zeigt exemplarisch Maisflächen mit einem Reihenabstand von 40 cm mit deutlichen Erosionsschäden. Die Bodenbedeckung zwischen den Maisreihen lag bei nur 1 – 2 %. Im Vergleich mit ähnlichen Maisfeldern mit Reihenabstand von 75 cm (gleiche Zeit, gleiche Niederschlagsintensität und Bodenbedeckung) war keine Verbesserung des Erosionsschutzes zu erkennen.

Der frühere Reihenschluss bei Engsaat würde allerdings das Zeitfenster bis zum Reihenschluss der Maispflanzen verkürzen.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
03.06.2012	22 mm	10 mm	3,9 mm

Abb. 81: Mais mit 40 cm Reihenabstand, 15.06.2012

#### 4.4.16 Silomais nach Ganzpflanzensilage

Mit dem Bedarf an Substrat für Biogasanlagen hat die zweimalige Nutzung innerhalb eines Jahres an Bedeutung gewonnen. Anfang Mai wird Wintergetreide als Ganzpflanzensilage geerntet, dann wird Mais gesät. Der Silagezeitpunkt und die Gärrestausbringung Anfang Mai verschieben den Termin für die Maissaat nach hinten. Damit wird auch der kritische Zeitraum für Bodenerosion verschoben, da dann auch der Reihenschluss später erfolgt. Dies kann erosionsverhindernd oder -fördernd wirken, abhängig vom Zeitpunkt des Starkregens. Da die Wahrscheinlichkeit für erosiven Starkregen von Mai bis Juli zunimmt (siehe R-Faktorenverteilung der ABAG), erhöht die spätere Maissaat das Erosionsrisiko.

Im folgenden Beispiel fiel der Starkregen am 31.05. auf ein Wintergetreidefeld, das anschließend für die Ganzpflanzensilage beerntet wurde (Abb. 82). Daneben liegen Maisfelder mit erheblichen Erosionsschäden. Die in einen Teich mündende Tiefenlinie wird als Dauergrünland genutzt. Kurz vor den beiden Teichen hatte sich der Boden abgesetzt. Auf der GPS-Fläche war bei der späteren Vor-Ort-Beurteilung Mais angebaut, Erosionsschäden waren nicht zu erkennen.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
31.05.2012	43 mm	30 mm	11 mm

Abb. 82: Maisfelder mit früher und später Saat (Ganzpflanzensilage), 09.06.2012

#### 4.4.17 Einstufung der Mais-Feldstücke nach CC-Erosionsgefährdungsklassen

In Bayern wurden die Feldstücke anhand des Medians der K\*S-Werte der 10\*10 m Rasterzellen in Erosionsgefährdungsklassen eingeteilt.

Folgend werden den drei Erosionsgefährdungsstufen (0 – 1 – 2) die anteiligen Schadensklassen zugeordnet (Abb. 83 und Abb. 84). Die Auswertung beschränkt sich sinnvollerweise auf Maisfelder.

Die Häufigkeit und Ausprägung von Erosionsschäden nimmt von Erosionsgefährdungsstufe 0 bis 2 deutlich zu (Abb. 85).

Bei dieser Auswertung ist zu berücksichtigen, dass auf Feldstücken, die nach ESchV als erosionsgefährdet eingestuft worden sind, Maßnahmen zum Erosionsschutz bereits obligatorisch sind. Die Trennung wäre vermutlich schärfer gewesen, hätte man die Untersuchungen vor Einführung der CC-Vorgaben zum Erosionsschutz durchgeführt.



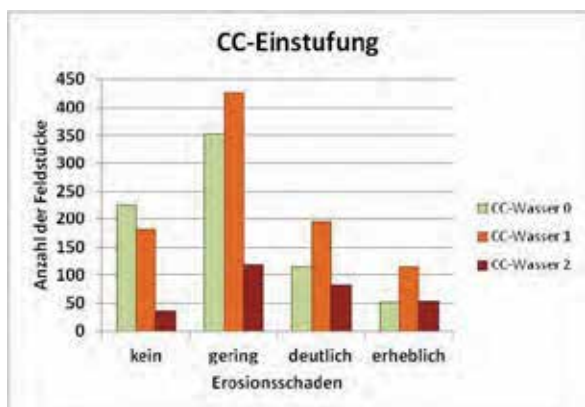


Abb. 83: Anzahl der Feldstücke nach K\*S-Wert und Erosionsschaden

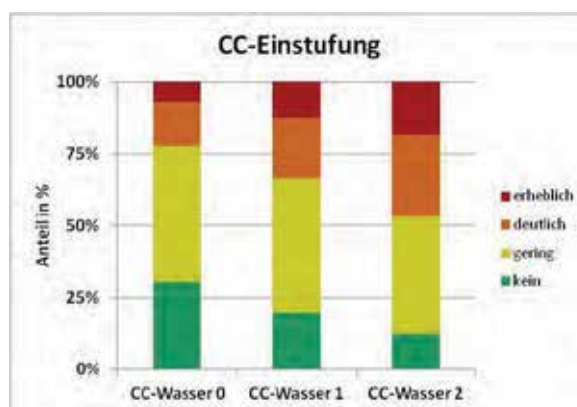


Abb. 84: K\*S-Wert und Erosionsschaden

#### 4.4.18 Hanglänge

Nach DirektzahlVerpflV hätten die Feldstücke alternativ auch anhand der ABAG-Faktoren  $R \cdot K \cdot S \cdot L$  eingestuft werden können.

Die maximale Hanglänge (wie auch die Schlaggröße, siehe Kapitel 4.4.10) steht in engem Zusammenhang mit der Verteilung der Erosionsschadensklassen Abb. 85 und Abb. 86. Je größer die Hanglänge, desto mehr Oberflächenwasser kann zusammenfließen, dessen erosive Kraft laufend zunimmt.

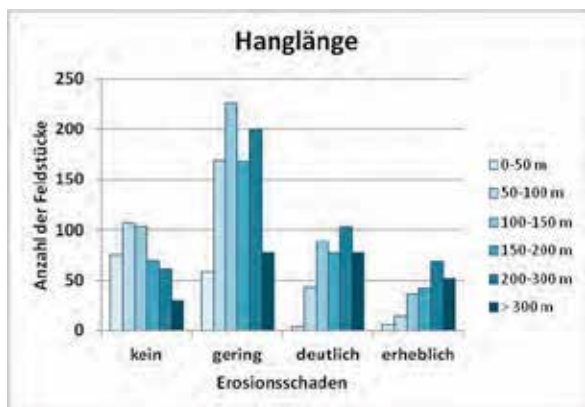


Abb. 85: Anzahl der Feldstücke nach Hanglänge und Erosionsschaden

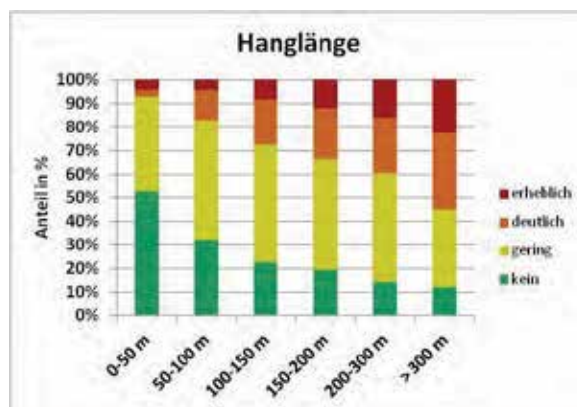


Abb. 86: Hanglänge und Erosionsschaden

Testweise wurde für die 1.952 Maisfeldstücke eine CC-Wassereinstufung mit Verwendung der maximalen Hanglänge vorgenommen (Abb. 87 und Abb. 88). Um den Einfluss der Hanglänge herauszustellen, wurde der R-Faktor pauschal auf 50 gesetzt, damit gelten laut DirektZahlVerpflV folgende Klassengrenzen für RKS L:  $< 0,6 =$  Gefährdungsstufe 0;  $0,6 - 1,1 =$  Gefährdungsstufe 1;  $> 1,1 =$  Gefährdungsstufe 2.

Der prozentuale Anteil der Erosionsschäden in den Erosionsgefährdungsstufen ändert sich bei  $R \cdot K \cdot S \cdot L$  gegenüber der gültigen  $K \cdot S$ -Einstufung nur marginal. Was sich aber deut-



lich verschiebt, ist die Anzahl der Feldstücke in den jeweiligen Gefährdungsklassen. So sinkt die Anzahl der Feldstücke, die in die Klasse CC-Wasser 0 fällt, um 24 % (absolut 179 Feldstücke). Um 33 % (absolut 299 Feldstücke) reduziert sich die Klasse CC-Wasser 1. Dafür steigt die Anzahl der CC-Wasser 2 Feldstücke um 165 % (478 Feldstücke) an. Zu berücksichtigen ist dabei noch, dass die R-Faktoren im Projektgebiet meist über dem Wert von 60 liegen, die Verwendung des individuellen R-Faktors hätte eine weitere Verschiebung der Erosionsgefährdungsstufen in Richtung CC-Wasser 2 zur Folge.

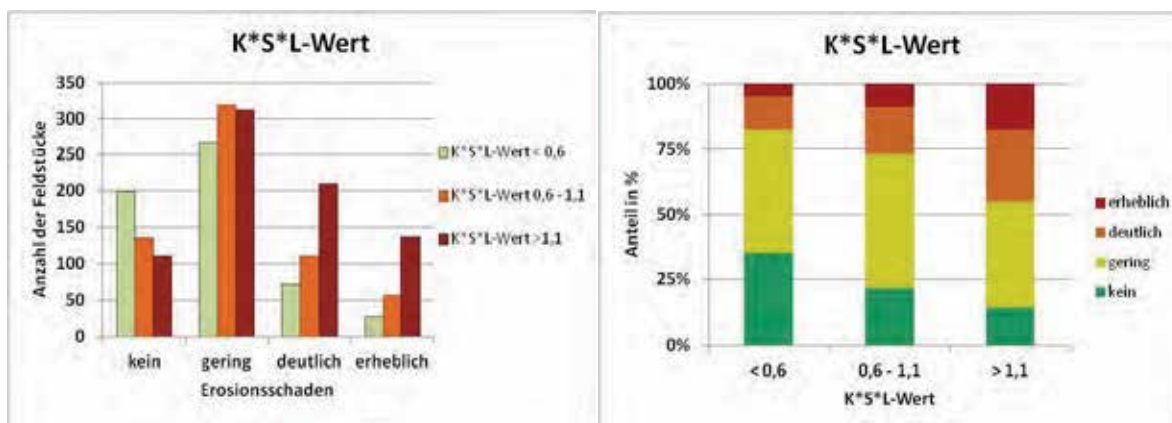


Abb. 87: Anzahl der Feldstücke nach K\*S\*L-Klasse und Erosionsschaden

Abb. 88: K\*S\*L-Klasse und Erosionsschaden

#### 4.4.19 ABAG-Bodenabtrag der Maisfelder

Für die in der Tabelle „Feldstücke und Bodenerosion“ erfassten Feldstücke mit Maisanbau wurden die in den letzten vier Jahren angebauten Kulturen erfasst und daraus die C-Faktoren der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) berechnet (BRANDHUBER et al. 2012). Der R-Faktor lag auf Basis des Erosionsatlas Bayern vor (TREISCH & BRANDHUBER, 2012). So konnte die ABAG für alle Feldstücke komplett berechnet werden mit dem Ergebnis des langjährigen mittleren jährlichen Bodenabtrags in t/ha\*a.

Der langjährig ausgerichtete ABAG-Abtrag wurde dem nach einem singulären Ereignis dokumentierten Erosionsschaden gegenübergestellt (Abb. 89 und Abb. 90). Auch hier zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang, wie schon bei K\*S und K\*S\*L. Je höher der ABAG-Abtrag, desto höher ist der Anteil von deutlichen und erheblichen Erosionsschäden.

Eine noch engere Beziehung zwischen den beobachteten Erosionsschäden und dem ABAG-Abtrag kann es mit diesem Untersuchungsansatz allein deshalb nicht geben, weil das Einzelereignis eine Fläche mit Maisanbau betraf, der Mais kann in der Fruchtfolge 10 % oder 100 % ausmachen. Um die ABAG zu validieren, müssten die Feldstücke mindestens 10 Jahre lang hinsichtlich ihrer Erosionsschäden bewertet werden.

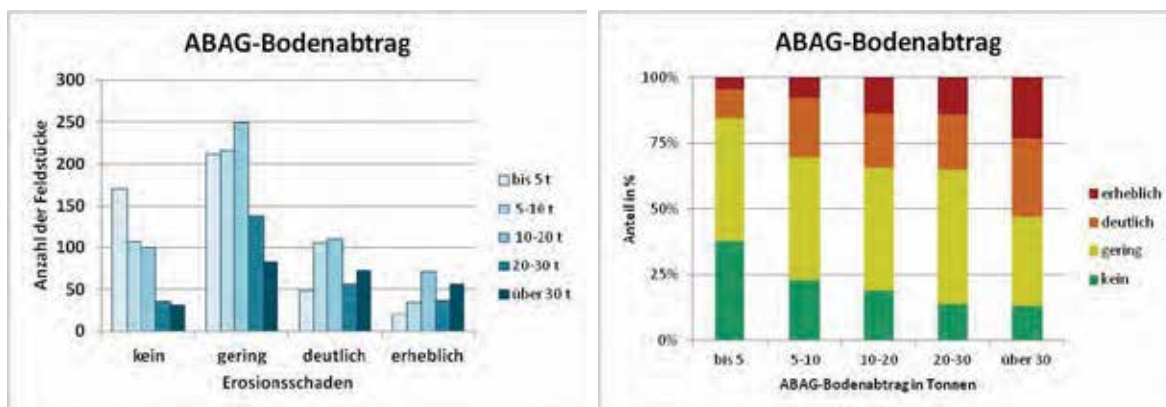


Abb. 89: Anzahl der Feldstücke nach ABAG-Abb. 90: ABAG-Bodenabtrag und Erosions-Bodenabtrag und Erosionsschaden

#### 4.4.20 Überschreitung des ABAG-Toleranzwertes

Der Tolerierbare Bodenabtrag wird nach SCHWERTMANN et al. (1990) mit Bodenzahl/8 angegeben.

Im Projektgebiet (Feldstücke mit Maisanbau 2011 und 2012) liegt der berechnete ABAG-Bodenabtrag (C-Faktor aus 4-jähriger Fruchtfolge) in den meisten Fällen über dem Tolerierbaren Bodenabtrag (Abb. 91).

Auf Feldstücken, die den Tolerierbaren Bodenabtrag überschreiten, ist der Anteil der Flächen mit deutlichen und erheblichen Erosionsschäden doppelt so hoch, der Anteil der Flächen ohne Schäden ist halb so hoch wie auf den Flächen unterhalb des tolerierbaren Bodenabtrags. Auf die methodisch bedingten Einschränkungen bei einem Vergleich zwischen langjährig ausgerichtetem ABAG-Abtrag und singulärem Erosionsereignis wurde im Kapitel 4.4.19 bereits hingewiesen.

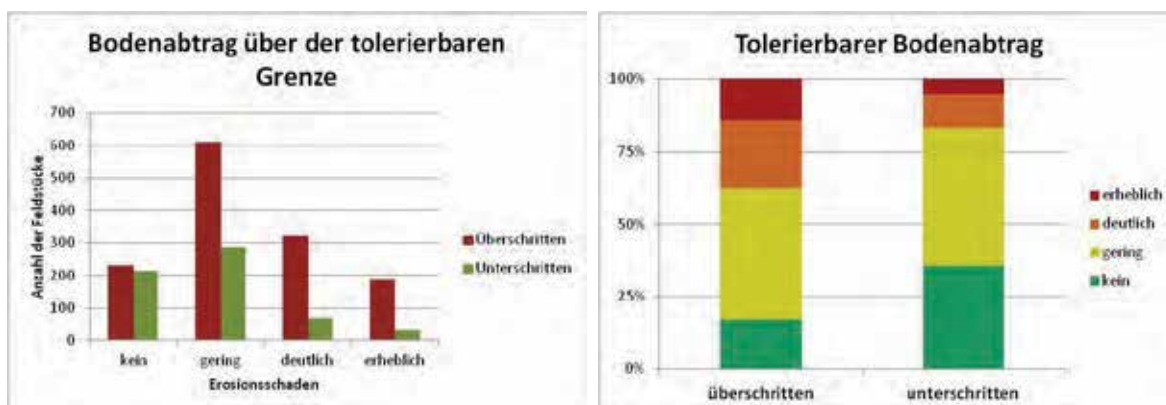


Abb. 91: Anzahl der Feldstücke nach ABAG-Abb. 92: ABAG-Toleranzwert und Erosions-Toleranzwert und Erosionsschaden

#### 4.4.21 Fahrspuren der Maissaat als Abflussbahnen

In Hangrichtung bestellte Maisfelder zeigen nach Starkregen häufig ein typisches Muster von Erosionsrinnen, die sich an den Schlepperfahrspuren bei der Maisbestellung orientieren (Abb. 93 und Abb. 94). Offensichtlich kann das Niederschlagswasser im Bereich der Spuren nicht versickern, das mit der Kreiselegge gelockerte Bodenmaterial über der verdichteten Spur wird weggeschwemmt. Um Bodenerosion zu verhindern, ist also auch darauf zu achten, dass Bodenverdichtungen verhindert und die Böden auch im Frühjahr nicht zu nass befahren werden (BRUNOTTE et al., 2013). Die Reifeninnendrucke sollten bei Frühjahrsarbeiten unter 1 bar liegen (VDI, 2007).



Abb. 93: Ausgeschwemmte Fahrspuren der Maisbestellung bei geringer Hanglänge



Abb. 94: Ausgeschwemmte Fahrspuren der Maisbestellung, steiler Hang

## 4.5 Kartoffeln

Kartoffeln gelten als erosionsanfällige Kultur. Bei der Errichtung der Kartoffeldämme wird das Feld in der Regel intensiv bearbeitet. Damit besteht kein flächendeckender Erosionsschutz mehr. Liegen die Dämme in Gefällrichtung, kann Oberflächenabfluss die Furchen leicht ausspülen. Wurde quer zum Hang gepflanzt, dann kann es bei Starkregen an einer Stelle zum plötzlichen Durchbrechen der Dämme kommen.

In der bayerischen Erosionsschutzverordnung ist der Pflugeinsatz vor Kartoffeln in der Erosionsgefährdungsklasse CC-Wasser 1 erlaubt. Begründung ist die schwierige Etablierung von Mulchsaatverfahren für diese anspruchsvolle Kultur.

In Bayern werden Kartoffeln überwiegend auf nicht oder gering erosionsgefährdeten Standorten angebaut. Deshalb finden sich nur 34 Kartoffelflächen in der Tabelle „Feldstücke und Bodenerosion“. Die Erosionsanfälligkeit der Kultur unter den praktizierten Anbauverfahren hat sich allerdings bestätigt.

Abb. 95 zeigt einen Erosionsschaden bei Anlage der Kartoffeldämme quer zum Hang. In der rechten Schlaghälfte liegt eine nur leicht ausgeprägte Hangmulde, die aber ausreichte, dass Oberflächenwasser seitlich der Tiefenlinie zufließt, was schließlich zum Durchbrechen der Dämme führte. Auch zum Vorgewende hin konnte Oberflächenwasser aus den Querrinnen zufließen, dort wurde in erheblichem Ausmaß Boden ausgeschwemmt (Abb. 96).



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
31.05.2012	43,1 mm	29,8 mm	10,8 mm

Abb. 95: Kartoffelfeld mit erheblichem Erosionsschaden, 09.06.2012





Abb. 96: *Blick auf das Kartoffelfeld aus obigem Luftbild im Bereich des Vorgewendes, 04.07.2012*

#### 4.6 Zuckerrüben

Der Zuckerrübenanbau konzentriert sich in Bayern auf Gäulagen, die zumindest im Donaunraum überwiegend wenig erosionsgefährdet sind. Im Projekt wurden nur wenige Zuckerrübenflächen (insg. 23 Feldstücke) dokumentiert.

Der übliche Reihenabstand bei Zuckerrüben ist mit 45 cm deutlich kleiner als bei Mais, der Reihenschluss findet vergleichsweise früh statt. Das Zeitfenster mit hohem Erosionsrisiko schließt sich damit schneller.

Abb. 97 zeigt ein unterteiltes Feldstück, oben ist Mais, unten sind Zuckerrüben angebaut. Auf dem Luftbild ist deutlich der Unterschied in der Bodenbedeckung zwischen Zuckerrüben (höherer Bodenbedeckungsgrad) und Mais zu erkennen. Beide Kulturen haben zum Erosionszeitpunkt die Reihen noch nicht geschlossen, aber die Zuckerrüben sind deutlich weiter entwickelt. Auf beiden Flächen ist es zu geringer Erosion gekommen. Die Erosion ist auf der Zuckerrübenfläche besser zu erkennen, da sie sich von den Zuckerrübenblättern farblich absetzt.

Um Erosion zu verhindern, werden die gleichen Methoden angewandt wie bei Mais. Die Wirkung von Mulchsaat mit Saatbettbereitung (siehe Abb. 98) ist, wie im Mais auch, von der Intensität der Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung abhängig.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Minutenniederschlag
22.05.2012	32,5 mm	17,8 mm	3,9 mm

Abb. 97: Unterteiltes Feldstück in Mais (obere Bildhälfte) und Zuckerrüben (untere Bildhälfte), 27.05.2012



Abb. 98: Mulchsaat mit Saatbettbereitung in Zuckerrüben, 29.06.2011



## 4.7 Erosion im Sommer und Herbst

Im Sommer und im Herbst öffnet sich wieder ein Zeitfenster mit höherer Erosionsdisposition, wenn der Boden zur Bestellung von Winterungen fein bearbeitet wurde.

Kritisch ist insbesondere die Rapssaat, da Ende August noch heftige Gewitterregen vorkommen können. Da Raps in den besonders erosionsgefährdeten Gebieten Bayerns keinen vergleichbar hohen Flächenanteil einnimmt wie Mais und in engem Reihenabstand gesät wird, sind die sommerlichen Erosionsschäden in der Flur deutlich geringer als in den Schwerpunkten des Maisanbaus im Mai/Juni.

Abb. 99 zeigt eine Rapsfläche mit einem Erosionsschaden. Der erosionsauslösende Niederschlag fiel ca. 10 Tage nach der Saat. Auf dem Luftbild sind deutlich die Erosionsrillen zu erkennen, die sich zu Erosionsrinnen weiterentwickelten. An den Stellen mit Bodenabtrag bzw. -anlandung entwickeln sich keine Rapspflanzen mehr.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag
04.09.2011	42,2 mm	34,3 mm

Abb. 99: Erosion nach der Rapssaat, 16.09.2011



*Abb. 100: Erosionsschaden im Rapsfeld aus obigem Luftbild, 06.09.2011*

## **4.8 Erosion im Winter**

Wetterkonstellationen, die im Winter in größerem räumlichem Umfang erhebliche Erosionsschäden ausgelöst hätten, traten im Projektzeitraum (Winter 2011/2012 und 2012/2013) nicht auf. Kritisch sind Regenfälle auf tief gefrorenen und dann auftauenden Boden oder langanhaltender Regen auf Schnee und auf wassergesättigten offenen Boden.

Erosionsschäden im Winter wurden nur vereinzelt beobachtet, sichtbare Erosionsschäden waren im Vergleich zu den Ereignissen im Mai/Juni weniger stark ausgeprägt.

Für den Eintrag von Nährstoffen in Gewässer können flächige Abschwemmungen aus wassergesättigten Feldern (insbesondere ausgangs Winter nach Ende der Sperrzeit für die Gülleausbringung) durchaus von größerer Bedeutung sein, auch wenn keine deutlich sichtbaren Erosionsspuren entstanden sind.

### **4.8.1 Raue Pflugfurche**

Nach dem Pflugeinsatz im Herbst ist in Bayern die raue Winterfurche vor frühen Sommerkulturen einer eingesäten Fläche gleichgestellt und damit CC-konform.

Eine raue Pflugfurche hinterlässt über den Winter ein unbedecktes, aber in sich strukturiertes Feld, auf dem der Frost eine gute Gare schaffen kann. In den kleinen Senken kann sich zwischen den Schollen Wasser sammeln, bevor es abzufließen beginnt.



Felder mit rauer Winterfurche und deutlichem bzw. erheblichem Erosionsschaden wurden im Projekt nur in wenigen Fällen angetroffen. Wurden Erosionsschäden festgestellt, dann war meist ein Wasserzufluss in das Feldstück mit rauer Pflugfurche vorhanden.

Neben der Erosion durch Wasserzufluss kam es auf wenigen Feldstücken mit großer Hanglänge und einer bevorzugten Abflussbahn innerhalb des Feldes zu Erosionsschäden (Abb. 101). Die Furche selbst kann bei ungünstiger Topografie einen Graben bilden, in dem Wasser gesammelt und abgeleitet wird. Der Schaden war in diesen Fällen jeweils auf die Abflussbahn begrenzt. Erosionsrillen oder Flächenerosion konnte neben den Abflussbahnen nicht entdeckt werden.

Abb. 102 zeigt ein von Starkregen betroffenen Feldstück Ende April, die Maissaat wurde wegen des Niederschlags unterbrochen. Auf der Teilfläche mit rauer Pflugfurche ist keine Erosion aufgetreten, im Gegensatz dazu ist es auf der bearbeiteten Teilfläche zu deutlichen Erosionsschäden gekommen.

Das Beispiel verdeutlicht, dass eine raue Pflugfurche über Winter ausreichenden Erosionsschutz bietet. Sobald im Frühjahr die Fläche bearbeitet wird, ist aber keinerlei Erosionsschutz mehr gegeben. Wird zeitig eine frühe Sommerkultur gesät, schließen sich die Reihen vor den Gewitterregen im Mai. Folgt aber eine Reihenkultur mit spätem Reihenschluss wie Mais, dann ist der blanke Boden dem Aufprall der Regentropfen schutzlos ausgesetzt.



*Abb. 101: Abflussbahn auf einem Feldstück mit rauer Winterfurche, 11.03.2013*



*Abb. 102: Raue Pflugfurche im Hintergrund, vorne frische Maissaat ohne Erosionsschutz, 29.04.2013*

#### **4.8.2 Spät gesäter Winterweizen**

Häufiger als bei rauer Winterfurche wurden Erosionsspuren in Winterweizen gefunden. Auf spät gesäten Winterweizenflächen erreicht der Pflanzenbestand keine nennenswerte Bodenbedeckung. Erfolgt eine Wintergetreidesaat, so wird die Bodenbearbeitung, im Projektgebiet häufig nach Vorfrucht Mais, überwiegend mit dem Pflug und der Kreiselegge durchgeführt. Dies hat zur Folge, dass die Oberfläche fein und wenig strukturiert ist. Außerdem kommt es bei der Saat zu Bodenverdichtungen durch den Traktor bzw. die Sämaschine. Diese reicht aus, um eine kleine Abflussbahn zu bilden, in der das Wasser konzentriert aus dem Feldstück fließen kann.

Abb. 104 zeigt eine Fläche mit spät gesättem Winterweizen; in den Spuren der Sämaschine hat sich das abfließende Wasser gesammelt, bis es sich einen anderen Fließweg suchte.

Auch in dem spät gesättem Winterweizen in Abb. 103 sind deutlich die Spuren winterlicher Erosion zu erkennen.



*Abb. 103: Rinnenerosion auf spät gesättem Winterweizen, 13.04.2013*

*Abb. 104: Erosion in den Fahrspuren der Sämaschine am Vorgewende, 13.04.2013*

## 4.9 Abfluss bremsende Strukturen im Hang

### 4.9.1 Fremdwasserzufluss

Starkregen verursacht Oberflächenabfluss, der sich auf den Weg macht zum tiefsten Punkt im Gelände. Kann genügend Wasser zusammenfließen und kommt ausreichend Nachschub, so werden kleinere, stauende Hindernisse überflossen. Auf dem Weg abwärts können selbst Teilflächen in Mitleidenschaft gezogen werden, deren Erosionsschutzniveau als hoch einzustufen ist.

Abb. 105 zeigt eine Maisfläche mit Wasserzufluss aus den oberliegenden Getreideflächen. Im Getreide ist kein Boden abgeschwemmt worden, es ist nur Wasser in die Maisfläche geflossen. Dieses hat dann in der Maisfläche sofort erhebliche Erosion ausgelöst. Die Vor-Ort-Beurteilung ergab Pflugverzicht als Erosionsschutzmaßnahme. Dem konzentrierten Wasserzufluss hielt der trotz Pflugverzicht intensiv gelockerte Boden nicht stand.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
05.06.2011	22,0 mm	19,9 mm	6,3 mm

Abb. 105: Maisfläche mit Wasserzufluss aus Getreideflächen, 10.06.2011

#### 4.9.2 Ranken, Hecken, Wege

Ranken, Hecken und Wege gliedern den Hang, was häufig mit Fruchtwechsel verbunden ist.

Durch Ranken gegliederte Hänge besitzen eine geringere Hangneigung auf den oberhalb und unterhalb liegenden bewirtschafteten Flächen (Terrasseneffekt).

Der Ranken selbst kann bei konzentriert auftretendem Abfluss aus größeren oberliegenden Feldern durchflossen werden. Abb. 106 zeigt dies exemplarisch. Die durch den Starkniederschlag ausgelösten Abflussrinnen wurden direkt oberhalb des Rankens bzw. in der parallel verlaufenden Pflugfurche zunächst gestoppt und der Oberflächenabfluss wurde zur



Tiefenlinie hin geleitet. An der tiefsten Stelle wurde der Ranken überspült und es kam zu einem konzentrierten Abfluss ins Nachbarfeld.

Um den Oberflächenabfluss komplett zu stoppen, darf der Niederschlag nur so stark sein, dass das abfließende Wasser von der Furche ganz aufgenommen wird.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
21.08.2012	53,6 mm	52,3 mm	5,2 mm

Abb. 106: Wirkung eines Rankens, 26.08.2012

Auch Feldwege bilden bei Starkregen kein unüberwindbares Hindernis. Im Projekt wurde häufig beobachtet, dass Wege überspült wurden (siehe Abb. 107).

Dieser Befund sollte aber nicht darüber hinwegsehen lassen, dass Ranken, Hecken und Wege bei den häufigeren kleinen Abfluss- und Erosionsereignissen eine wichtige Rückhaltefunktion besitzen. Um ihr Potenzial für den Wasserrückhalt auszuspielen zu können, muss ein effektiver Flächenschutz vorhanden sein.





Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
12.05.2011	26 mm	13 mm	6 mm

Abb. 107: Überspülter Feldweg zwischen zwei Maisfeldern, 18.05.2011

### 4.9.3 Fruchtartenwechsel im Hang

Ein Fruchtartenwechsel im Hang begrenzt Erosionsschäden. Mit dem räumlichen Wechsel von erosionsanfälligen Kulturen wie Mais mit Wintergetreide beschränkt sich der Bodenabtrag auf das Maisfeld. Damit sinkt - bezogen auf den ganzen Hang - der Bodenabtrag und damit auch der Bodenaustrag (siehe auch Kapitel 4.4.18). Wintergetreideflächen quer zum Hang wirken im Frühjahr und Frühsommer wie ein sehr breiter Grünstreifen.

Abb. 108 verdeutlicht die Wirkung von unterteilten Hangflächen mit Wechsel von Mais und Getreide. Auf der rechten Bildhälfte liegen zwei Feldstücke mit Maisanbau untereinander. Es sind zwei Bewirtschafter, die zufällig im selben Jahr Mais angebaut haben. Die beiden Feldstücke bilden eine Einheit, es ist deutlich die Abflusslinie zu erkennen. Ein Feldrain, der die beiden Maisflächen trennt, ist nicht vorhanden. Der Bodenabtrag ist als erheblich eingestuft. Abgeschwemmter Boden ist aus dem Feld in den Graben, über die Straße in eine Grünlandfläche und in ein Gewässer gelangt.

Auf der linken Bildhälfte herrschen zum Erosionszeitpunkt ähnliche Bedingungen (Niederschlagsintensität, Hangneigung, Bodenart), allerdings mit dem Unterschied, dass die Fläche mit verschiedenen Kulturen bestellt ist. Auf den Maisfeldern ist beginnende Erosion zu erkennen, diese setzt sich aber im Wintergetreide nicht fort. Vergrößert sich die Hanglänge, nimmt die Erosion zu und es kommt zu Bodenaustrag aus der Fläche (grüner Pfeil).



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
05.06.2011	21 mm	18,3 mm	3,9 mm

Abb. 108: Effekte von Fruchtartenwechsel im Hang, 10.06.2011

## 4.10 Grünstreifen entlang von Gewässern

### 4.10.1 Grünstreifen zum Gewässer- und Bodenschutz (KULAP A35)

Im Unterschied zu den temporären Erosionsschutzstreifen in Maisfeldern handelt es sich bei den KULAP A35 Streifen um dauerhaft eingesäte, 10 – 30 m breite Grünstreifen entlang von Gewässern, in Geländemulden oder in erosionsgefährdeten Hängen quer zum Hang. Der Verpflichtungszeitraum beträgt 5 Jahre. Auf nach ESchV wassererosionsgefährdet eingestuftem Feldstücken gelten die damit verbundenen Anforderungen an die Erosionsgefährdung als erfüllt, wenn zumindest ein KULAP-Grünstreifen innerhalb des Hangbereiches angelegt ist. Bei Hanglängen bis ca. 100 m reicht ein Streifen am Hangfuß aus.

Im Rahmen des Projekts wurden ausschließlich Grünstreifen entlang Oberflächengewässern (Bäche, Gräben) dokumentiert. Diese Grünstreifen dienen dem Gewässerschutz. Sie verhindern keine Bodenerosion, sollen aber bereits abgetragenen Boden vor dem Eintrag in Gewässer absetzen lassen.

Nach den Beobachtungen im Projekt gelingt dies dann, wenn der Hang vor dem Gewässer flach ausläuft (siehe Abb. 110). So verweilt das Wasser-Boden-Gemisch länger im Grünstreifen, die Schleppekraft des Oberflächenabflusses sinkt und die Bodenteilchen haben Zeit zu sedimentieren. Weist das Gelände ein stärkeres Gefälle zum Gewässer auf (siehe

Beispiel in Abb. 111), so fließt das Wasser mit weiter hoher Schleppkraft schnell durch den dort platzierten Grünstreifen und gelangt zusammen mit den mitgeschleppten Bodenteilchen ins Gewässer.

Besonders kritisch sind Geländesituationen mit Tiefenlinien innerhalb von Ackerflächen, die in ein Gewässer münden. Konzentriert sich dort der Oberflächenabfluss, so können Grünstreifen ohne Verringerung der Schleppkraft durchflossen werden, auch wenn sie flach zum Gewässer auslaufen.

Abb. 109 zeigt einen KULAP-A35-Grünstreifen, der den Eintrag von erodiertem Boden in den Graben größtenteils verhindert hat.



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
20.05.2011	22 mm	19 mm	5,5 mm

Abb. 109: Grünstreifen zum Gewässer- und Bodenschutz (A35), 26.05.2011





Abb. 110: Flach auslaufender Hang zum Ge-Abb. 111: wässer mit KULAP-A35 Grünstreifen, 07.03.2013

Feldstück mit stärkerem Gefälle im KULAP-A35 Grünstreifen und Bodeneintrag ins Gewässer, 29.08.2011

Tab. 6: Informationen zu Abb. 111

Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
24.08.2011	356 mm	17 mm	7,1 mm

#### 4.10.2 Grünland als Puffer

Häufig sind Gräben und Bäche von Dauergrünland flankiert. Auch Tiefenlinien im Gelände werden vielfach als Grünland genutzt. Für den Gewässerschutz sind diese Flächen von großer Bedeutung. Sie sind breiter als angelegte Streifen, das Gefälle zum Gewässer hin ist meist gering. Unter diesen Bedingungen können sie Bodenteilchen aufnehmen, bevor diese ins Gewässer gelangen. Die Abb. 112 und Abb. 113 zeigen typische Beispiele.

Abb. 112 bildet einen Hopfengarten mit deutlichen Erosionsspuren ab. Die abgeschwemmten Bodenteilchen sammeln sich in der Tiefenlinie und setzen sich teilweise in der Klee grasfläche ab, der Rest sedimentiert in der Grünlandfläche. Dieser Prozess braucht Zeit und Fläche, ohne Begrünung der Abflussbahnen würden die Bodenteilchen in den Graben gelangen und sich erst im Gewässer absetzen.

Abb. 113 zeigt eine Maisfläche mit erheblichen Erosionsschaden und Bodenabtrag aus der Fläche. Als natürlicher Gewässerschutz dient eine Grünlandfläche zwischen Mais und Gewässer. Die Bodenteilchen setzten sich in der Wiese ab und werden nicht ins Gewässer transportiert.





Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Min.-Niederschlag
31.05.2011	34 mm	24 mm	5,5 mm

Abb. 112: Abschwemmung aus einem Hopfengarten, Anlandung in Klee gras und Grünland, 03.06.2011



Ereignis	Tagesniederschlag	max. Stundenniederschlag	max. 5-Minutenniederschlag
31.05.2012	52 mm	39 mm	11,5 mm

Abb. 113: Abschwemmung aus einem Maisfeld, Anlandung in eine gewässerbegleitende Wiese, 09.06.2012)

#### 4.11 Nachwirkungen von Erosionsereignissen

Die Folgen von Erosionsereignissen sind in der Entwicklung der Kulturpflanzen deutlich zu sehen und spiegeln sich auch im Ertrag wider. Um die Folgeschäden zu dokumentieren, wurden in einigen Fällen Luftbilder im Jahr nach einem bereits dokumentierten Erosionsereignis erstellt (Abb. 114 - Abb. 117).

Auf Abb. 115 ist ein deutlicher Ertragsunterschied zwischen den Kuppen- und Hangbereichen einerseits und den Fließwegen andererseits zu erkennen. Im Kuppen- und Hangbereich ist die Feinbodenaufgabe gekappt, es sind „Brenner“ entstanden. Aus den bevorzugten Fließwegen wird zu Beginn des Erosionsereignisses ebenfalls Boden ausgeschwemmt, aber gegen Ende des Regenereignisses lagern sich mit nachlassender Schleppkraft wieder feine Bodenteilchen ab, der Bestand reift später ab.

Im Bildpaar von Abb. 114 und Abb. 115 ist zu erkennen, dass die ausgeprägte Tiefenlinie auch im Getreidebestand als Abflussbahn dient.



Abb. 114: Maisfläche mit Erosion,  
25.06.2010



Abb. 115: Getreide ein Jahr nach dem Erosionsereignis, 09.07.2011



Abb. 116: Mais mit CC-Erosionsstreifen und Erosion in der Tiefenlinie,  
18.05.2011



Abb. 117: Getreide in der Abreife ein Jahr nach dem Erosionsereignis,  
08.07.2012

---

**Die Autoren bedanken sich**

- beim Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Projektförderung,
- bei Lothar Bock und Elisabeth Brunnbauer (DWD, Niederlassung Weißenstephan) für die allmorgendliche Auswertung der RADOLAN-Daten,
- bei den Kolleginnen und Kollegen an den Fachzentren Agrarökologie der Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die tatkräftige Unterstützung vor Ort,
- bei Melanie Treisch für die GIS-fachliche Begleitung,
- bei Gertraud Offenberger für Korrekturlesen und Formatierung der vorliegenden Schrift.

## 5 Literaturverzeichnis

- Auerswald, K., Schröder, R. (2001): Simulation von verschlammungsgesteuertem Abfluss heterogen genutzter Einzugsgebiete. *Wasser & Boden* 53/10, S. 17-20
- Auerswald, K., Fiener, P., Dikau, R. (2009): Rates of sheet and rill erosion in Germany — A meta-analysis. *Geomorphology* 111, 182–193
- Bartels, H., Malitz, G., Asmus, S., Albert, F., Dietzer, B., Günther, Th., Ertel, H. (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland – KOSTRA, Deutscher Wetterdienst, Offenbach a.M.
- Brandhuber, R. (2012): Starkregen und Bodenerosion – Welches Risiko sollen Schutzmaßnahmen abdecken? *KTBL-Schrift* 492, Management der Ressource Wasser, S.140-149
- Brandhuber, R., Auerswald, K., Lang, R., Müller, A., Rippel, R. (2012): ABAG interaktiv, Programmversion 1.0. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
- Brandhuber, R., Treisch, M. (2012): Bodenabtrag in Abhängigkeit von der Maisanbaufläche in Bayern: Vergleich 2005 mit 2011. Tagungsband zu den 7. Makrtredwitzer Bodenschutztagen, S. 136-141
- Brunotte, J., Brandhuber, R., Vorderbrügge, T. (2013): Vorsorge gegen Bodenverdichtungen. In: *Gute fachliche Praxis - Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz* (2013), aid infodienst, Bonn, S. 21-69
- Bug, J., Mosimann, T. (2011): Modellierung des Gewässeranschlusses von erosionsaktiven Flächen. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 43, S. 77-84.
- Bug, J., Mosimann, T. (2012): Modellierung der linearen Bodenerosion. In: *Geosynthesis* 15, Hannover, 94 S.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) (2012): Berücksichtigung der Bodenerosion durch Wasser bei der Maßnahmenplanung nach EG-Wasserrahmenrichtlinie. Merkblatt DWA-M 910, Hennef, 119 S.
- Leys, A., Govers, G., Gillijns, K., Berckmoes, E., Takken, I. (2010): Scale effects on runoff and erosion losses from arable land under conservation and conventional tillage: The role of residue cover. *Journal of Hydrology* 390, 143–154
- Mosimann, T., Bug, J., Sanders, S., Beisiegel, F. (2009): Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen 2000-2008, *Geosynthesis* 14, Universität Hannover
- Nitsche, O., Krück, S., Zimmerling, B., Schmidt, W. (2002): Boden- und gewässerschonende Landbewirtschaftung in Flusseinzugsgebieten. *Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft*, H. 11, 7. Jg., S. 1-22
- Routschek, A. (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. *Schriftenreihe des LfULG*, Heft 29/2012, 139 S.
- Schmidt, W., Brandhuber, R., Bug, J. (2013): Vorsorge gegen Bodenerosion - Wassererosion. In: *Gute fachliche Praxis - Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz* (2013), aid infodienst, Bonn, S. 84-107
- Schwertmann, U., Vogl, W, Kainz, M. (1990): *Bodenerosion durch Wasser*, 2. Aufl. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart



- 
- Treich, M., Brandhuber, R. (2012): Neuberechnung des Erosionsatlas von Bayern. Tagungsband zu den 7. Marktredwitzer Bodenschutztagen, S. 185-189
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2007): Maschineneinsatz unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden. VDI-Richtlinie 6101, Düsseldorf, 68 S.
- Wurbs, D., Steininger, M. (2011): Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden – Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser, Hrsg. Umweltbundesamt; UBA-Texte 16/2011, Dessau-Roßlau.

## 6 Bildanhang

### Temporäre Grünstreifen in Maisfeldern



Luftbild A1	
Ereignis: 31.05.2011	
Niederschlag	
Tag	40 mm
max. Std.	30 mm
max. 5 Min.	10 mm



Luftbild A2	
Ereignis: 31.05.2011	
Niederschlag	
Tag	59 mm
max. Std.	44 mm
max. 5 Min.	10 mm



Luftbild A3	
Ereignis: 31.05.2011	
Niederschlag	
Tag	50 mm
max. Std.	29 mm
max. 5 Min.	5,9 mm

## Temporäre Grünstreifen in Maisfeldern



Luftbild A4	
Ereignis: 31.05.2011	
Niederschlag	
Tag	37 mm
max. Std.	27 mm
max. 5 Min.	4,9 mm



Luftbild A5	
Ereignis: 31.05.2011	
Niederschlag	
Tag	45 mm
max. Std.	14 mm
max. 5 Min.	10 mm



Luftbild A6	
Ereignis: 31.05.2011	
Niederschlag	
Tag	59 mm
max. Std.	44 mm
max. 5 Min.	10 mm



## Bewirtschaftungsrichtung



Luftbild A7	
Ereignis: 31.05.2012	
Niederschlag	
Tag	71 mm
max. Std.	39 mm
max. 5 Min.	21 mm



Luftbild A8	
Ereignis: 20.05.2011	
Niederschlag	
Tag	46 mm
max. Std.	12 mm
max. 5 Min.	2,3 mm



Luftbild A9	
Ereignis: 02.05.2012	
Niederschlag	
Tag	25 mm
max. Std.	20 mm
max. 5 Min.	7,1 mm



## Sehr große Feldstücke



Luftbild A10	
Ereignis: 12.05.2011	
Niederschlag	
Tag	15 mm
max. Std.	10 mm
max. 5 Min.	4,6 mm



Luftbild A11	
Ereignis: 12.05.2011	
Niederschlag	
Tag	16 mm
max. Std.	10 mm
max. 5 Min.	3,2mm



Luftbild A12	
Ereignis: 12.05.2011	
Niederschlag	
Tag	27 mm
max. Std.	14 mm
max. 5 Min.	9,0 mm

## Miststreifen



Luftbild A13	
Ereignis: 12.05.2011	
Niederschlag	
Tag	19 mm
max. Std.	19 mm
max. 5 Min.	7,5 mm



Luftbild A14	
Ereignis: 02.05.2012	
Niederschlag	
Tag	54 mm
max. Std.	47 mm
max. 5 Min.	15 mm



Luftbild A15	
Ereignis: 02.05.2012	
Niederschlag	
Tag	26 mm
max. Std.	22 mm
max. 5 Min.	9,6 mm



## Wasserfurchen



Luftbild A16	
Ereignis: 31.05.2012	
Niederschlag	
Tag	15mm
max. Std.	9 mm
max. 5 Min.	3,2 mm



Luftbild A17	
Ereignis: 31.05.2012	
Niederschlag	
Tag	19 mm
max. Std.	12 mm
max. 5 Min.	3,9 mm



Luftbild A18	
Ereignis: 12.05.2011	
Niederschlag	
Tag	21 mm
max. Std.	8 mm
max. 5 Min.	3,2 mm

## Fruchtartenwechsel im Hang



Luftbild A19	
Ereignis: 31.05.2012	
Niederschlag	
Tag	51 mm
max. Std.	32 mm
max. 5 Min.	9,6 mm



Luftbild A20	
Ereignis: 05.06.2011	
Niederschlag	
Tag	58 mm
max. Std.	47 mm
max. 5 Min.	5,9 mm



Luftbild A21	
Ereignis: 02.05.2012	
Niederschlag	
Tag	26 mm
max. Std.	22 mm
max. 5 Min.	9,6 mm



## Engsaat von Mais



Luftbild A22	
Ereignis: 05.06.2011	
Niederschlag	
Tag	57 mm
max. Std.	44 mm
max. 5 Min.	10 mm



Luftbild A23	
Ereignis: 05.06.2011	
Niederschlag	
Tag	53 mm
max. Std.	44 mm
max. 5 Min.	10 mm



Luftbild A24	
Ereignis: 03.06.2012	
Niederschlag	
Tag	20 mm
max. Std.	10 mm
max. 5 Min.	2,9 mm

## Ganzpflanzensilage vor Silomais



Luftbild A25, A26	
Ereignis: 31.05.2012	
Niederschlag	
Tag	43 mm
max. Std.	30 mm
max. 5 Min.	11 mm



## Grünstreifen zum Gewässer und Bodenschutz (KULAP A35)



Luftbild A27	
Ereignis: 12.05.2011	
Niederschlag	
Tag	20 mm
max. Std.	11 mm
max. 5 Min.	3,9 mm



Luftbild A28	
Ereignis: 12.05.2011	
Niederschlag	
Tag	19 mm
max. Std.	11 mm
max. 5 Min.	4,9 mm



Luftbild A29	
Ereignis: 22.05.2012	
Niederschlag	
Tag	15 mm
max. Std.	8 mm
max. 5 Min.	1,9 mm



## Grünland als Puffer



Luftbild A30	
Ereignis: 31.05.2012	
Niederschlag	
Tag	61 mm
max. Std.	53 mm
max. 5 Min.	16 mm



Luftbild A31	
Ereignis: 12.05.2011	
Niederschlag	
Tag	25 mm
max. Std.	13 mm
max. 5 Min.	6,6 mm



Luftbild A32	
Ereignis: 03.05.2012	
Niederschlag	
Tag	35 mm
max. Std.	29 mm
max. 5 Min.	4,6 mm



## Kartoffeln



Luftbild A33	
Ereignis: 05.06.2011	
Niederschlag	
Tag	46 mm
max. Std.	40 mm
max. 5 Min.	5,6 mm



Luftbild A34	
Ereignis: Juni 2011	



Luftbild A35	
Ereignis: 05.06.2011	
Niederschlag	
Tag	46 mm
max. Std.	26 mm
max. 5 Min.	5,5 mm

## Abfluss bremsende Strukturen



**Feldweg als bremsende Struktur**

Luftbild A36
Ereignis: 04.09.2011



**Hecke als bremsende Struktur**

Luftbild A37	
Ereignis: 04.09.2011	
Niederschlag	
Tag	25 mm
max. Std.	15 mm



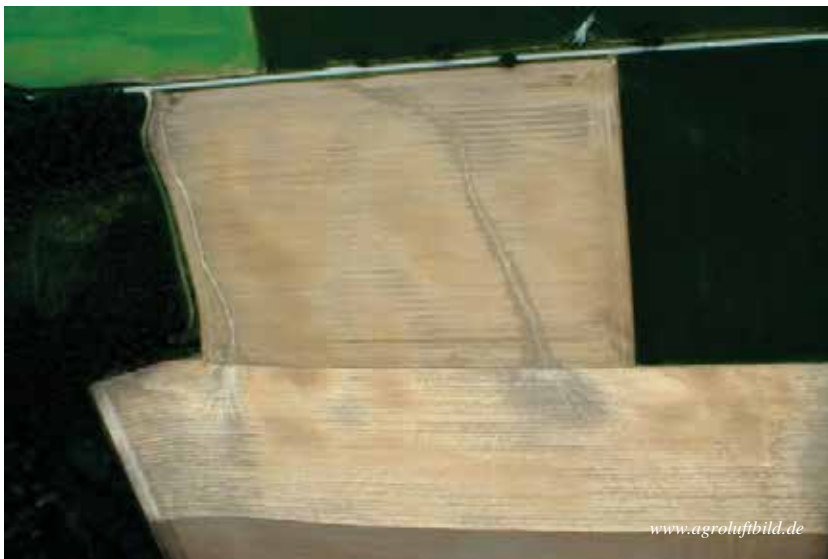
**Hecke als bremsende Struktur**

Luftbild A38	
Ereignis: 04.09.2011	
Niederschlag	
Tag	25 mm
max. Std.	15 mm

## Erosion im Sommer/Herbst



Luftbild A39	
Ereignis: 24.08.2011	
Niederschlag	
Tag	30 mm
max. Std.	17 mm
max. 5 Min.	4,3 mm



Luftbild A40	
Ereignis: 24.08.2011	
Niederschlag	
Tag	36 mm
max. Std.	17 mm
max. 5 Min.	3,6 mm



Luftbild A41	
Ereignis: 24.08.2011	
Niederschlag	
Tag	35 mm
max. Std.	17 mm
max. 5 Min.	7,1 mm



## Erosion im Sommer/Herbst



Luftbild A42	
Ereignis: 24.08.2011	
Niederschlag	
Tag	31 mm
max. Std.	15 mm
max. 5 Min.	5,9 mm



Luftbild A43	
Ereignis: 24.08.2011	
Niederschlag	
Tag	31 mm
max. Std.	15 mm
max. 5 Min.	5,9 mm



Luftbild A44	
Ereignis: 21.08.2012	
Niederschlag	
Tag	48 mm
max. Std.	46 mm
max. 5 Min.	5,2 mm



## Erosion im Winter



<b>Luftbild A45</b>
Rapsfeld mit Erosionsschäden Winter 2012/2013



<b>Luftbild A46</b>
Winterweizen (unten) im Vergleich zu rauer Pflugfurche (oben) Winter 2012/2013



<b>Luftbild A47</b>
Erosion auf einer Winterweizenfläche Winter 2012/2013

## Erosion im Winter



Bild A48

Rapsfeld am  
11.03.2013  
(Luftbild A45)



Bild A49

Winterweizen am  
11.03.2013  
(Luftbild A46)



Bild A50

Winterweizen am  
11.03.2013  
(Luftbild A47)



## Nachwirkungen von Erosionsereignissen



Luftbild A51	
Ereignis: 12.05.2011	
Niederschlag	
Tag	27 mm
max. Std.	15 mm
max. 5 Min.	7,5 mm



Luftbild A52	
Wintergetreide	
08.07.2012	

## Nachwirkungen von Erosionsereignissen



Luftbild A53	
Ereignis: 12.05.2011	
Niederschlag	
Tag	25 mm
max. Std.	11 mm
max. 5 Min.	3,6 mm



Luftbild A54	
Wintergetreide	
08.07.2012	



## Permanente Erosionsspuren



Luftbild A55
Erosionsereignis: 12.05.2011



Luftbild A56
08.07.2012

## Erosionsspuren 2011 und 2022 am selben Standort



Luftbild A57	
Ereignis: 31.05.2011	
Niederschlag	
Tag	45 mm
max. Std.	14 mm
max. 5 Min.	10 mm



Luftbild A58	
30.06.2012	





