

StartClim2008.B

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

Universität für Bodenkultur



Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft. 

Institut für Meteorologie 

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung 

Autoren:

Andreas Klik (Projektleitung, IHLW)

Josef Eitzinger (BOKU-Met)

Peter Liebhard (IPP)

Warakorn Rattanaarekul (IHLW)

Wien, im Mai 2009

StartClim2008.B

Teilprojekt von StartClim2008

Projektleitung von StartClim2008:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

StartClim2008 wurde aus Mitteln des BMLFUW, des BMWF, des BMWFJ, der ÖBF und der Österreichischen Hagelversicherung gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
Abstract	3
B-1 Einleitung und Aufgabenstellung	5
B-2 Bodenschutzmaßnahmen	8
B-2.1 Allgemeines	8
B-2.2 Bodenschonende Bearbeitungsverfahren	9
B-3 Material und Methoden	12
B-3.1 Beschreibung des Projektgebietes	12
<i>B-3.1.1 Allgemeines</i>	<i>12</i>
<i>B-3.1.2 Böden</i>	<i>12</i>
<i>B-3.1.3 Landwirtschaftliche Betriebe und Fruchtfolgen</i>	<i>13</i>
B-3.2 Ausgewählte Bodenschutzmaßnahmen	16
B-3.3 Klimaszenarien	16
B-3.4 Verwendetes Bodenerosionsmodell GeoWEPP	21
B-4 Ergebnisse	22
B-4.1 Oberflächenabfluss	22
B-4.2 Bodenabtrag im Einzugsgebiet und Sedimentaustrag aus dem Gebiet	27
B-5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	34
Literaturverzeichnis	36
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	38

Kurzfassung

Für ein 1,44 km² großes, landwirtschaftlich genutztes Einzugsgebiet im Nordosten Österreichs wurde die Wirkung ausgewählter Bodenschutzmaßnahmen hinsichtlich Verringerung der Bodenerosion und Rückhalt des Niederschlagswassers in der Landschaft für den Zeitraum 1961-1990 als Referenz modelliert.

Unter derzeitigen Klimabedingungen bewirken Direktsaat und Grünlandnutzung eine Verminderung des Oberflächenabflusses um 38 bzw. 75%. Bei zukünftigen Klimabedingungen (2040 – 2060) ist anzunehmen, dass die Wirkung der beiden Bodenschutzmaßnahmen je nach Szenario ähnlich hoch bleibt oder auf 16-53% reduziert wird.

Die Berechnungen des mittleren Bodenabtrages im Einzugsgebiet ergeben derzeit Werte zwischen 2,57 für konventionelle Bodenbearbeitung und 0,01 t.ha⁻¹.a⁻¹ bei Grünland (Abb. 1). Dies entspricht etwa einem mittleren, jährlichen Bodenverlust von maximal 0,2 mm. Unter der Annahme einer Bodenneubildungsrate von 0,2 mm pro Jahr übersteigt der mittlere Bodenabtrag daher unter heutigen Verhältnissen nicht den tolerierbaren Wert. Der Großteil der Erosion entsteht im Frühjahr. Je nach Klimaszenario zeigen sich bei konventioneller Bewirtschaftung Veränderungen im Bodenabtrag zwischen -55 bis +22% (bei gemäßigten Treibhausgasemissionen) bzw. -17 bis +56% (bei extremen Treibhausgasemissionen), womit auch ein Anstieg der Erosion über die Toleranzgrenze möglich scheint. Bei Verwendung von Direktsaat im gesamten Gebiet zeigen die Berechnungen zukünftige Erosionsraten zwischen 0,16 und 1,42 t.ha⁻¹.a⁻¹ (Abb. 2), welche ähnlich hoch bzw. höher sind als unter derzeitigen Bedingungen. Unter Grünlandnutzung kommt es nur zu marginalen Sedimentausträgen (>0,03 t.ha⁻¹.a⁻¹) aus dem Einzugsgebiet. Da das tolerierbare Maß nicht überschritten wird sind beide Bodenschutzmaßnahmen mit geringfügigen Adaptierungen auch unter zukünftigen Klimabedingungen als für die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig anzusehen.

Allerdings muss beachtet werden, dass es auf der Basis der verfügbaren Klimaszenarien nur bedingt möglich war, Änderungen in Häufigkeit und Intensität von Extremniederschlägen zu simulieren. Da der generelle Trend in den Sommermonaten eher auf eine Zunahme extremer Niederschläge hindeutet, könnten die vorsichtig optimistischen Aussagen der Untersuchung relativiert werden.

Abstract

The goal of this study was to assess the impact of selected soil protection measures with respect to soil erosion and retention of rainwater in the landscape for a 1.44 km² large, agricultural used watershed in the north-east of Austria. The time period 1961-1990 was used as reference.

Under current climatic conditions no-till and grassland decrease runoff by 38 and 75%, respectively. The simulation results suggest that under future climate scenarios (2040-2060) the effectiveness of the selected soil conservation measures will be similar or slightly decreased to 16-53%.

For the actual situation average net soil losses in the watershed of 2.57 for conventional soil management systems and 01 t.ha⁻¹.a⁻¹ for grassland are calculated. This corresponds to an average yearly loss of about 0.2 mm which is considered to be the average yearly soil formation rate and therefore a tolerable soil loss. The current soil/land use does not exceed this limit. Most of the erosion occurs during spring time. Under future climate scenarios conventional tillage will lead to changes in soil erosion by -55 to +22% (for moderate greenhouse gas emissions) and by -17 to +56% (for extreme greenhouse gas emissions), respectively. Under these conditions the tolerable limits will partly be exceeded. The use of no-till reduces yearly soil loss rates to 0.16 and 1.42 t.ha⁻¹. They are in the same range or slightly higher than under actual conditions. The conversion to grassland minimizes sediment yields leaving the watershed (>0,03 t.ha⁻¹.a⁻¹).

The selected soil conservation methods maintain their protective effect on soil resources independent from the climate scenario. Therefore with small adaptations they can be recommended as sustainable soil/land management systems also under future climatic conditions.

However, based on the available climate scenarios climate induced changes in frequency and intensity of heavy rainstorms were considered only in a limited way. As the general future trend indicates a strong increase of rainstorms with high intensity during summer months the results of this study may be too optimistic.

B-1 Einleitung und Aufgabenstellung

In den vergangenen Jahrzehnten hat die landwirtschaftliche Nutzung und hierbei vor allem der Ackerbau zu massiven Veränderungen im ländlichen Bereich geführt. Durch anthropogene Eingriffe wie starke Mechanisierung, geänderte Anbauverhältnisse und Veränderungen der Strukturen durch Kommissierungen etc. wurde die Gefährdung unserer Böden durch Wasser- und Winderosion deutlich erhöht. In Österreich können rd. 12% der landwirtschaftlichen Nutzfläche als potentiell erosionsgefährdet eingestuft werden (Strauss und Klaghofer, 2006). Abgetragen wird stets die oberste, fruchtbarste Bodenschicht, die sich durch einen hohen Anteil an organischem Material sowie durch beachtlichen Gehalt an Stickstoff- und Phosphorverbindungen auszeichnet. Durch diesen Bodenverlust wird langfristig die Bodenfunktion bei der Nahrungsmittelproduktion vermindert und somit die Lebensgrundlage der Menschen wesentlich beeinträchtigt.

Der Boden wird durch die moderne Landwirtschaft vielfältigen Belastungen ausgesetzt. In Europa kamen durch den seit den 60er Jahren vollzogenen Strukturwandel zunehmend leistungsstarke und schwere Maschinen auf wachsenden Betrieben zum Einsatz. Die Folge sind zunehmender Strukturzerfall des Oberbodens sowie Verdichtung des Unterbodens (Gieska et al., 2003). Insbesondere im Ackerland beseitigt der Mensch durch seine landwirtschaftliche Tätigkeit die schützende Vegetationsdecke in mehr oder minder großem Ausmaß und setzt den Boden somit den zerstörenden Kräften der Wasser- und Winderosion aus. Erosion kann nur durch eine dauerhaft den Boden schützende dichte Vegetationsdecke vermieden werden. Dichtes Blattwerk bremst die Schlagwirkung der Regentropfen, fein verzweigte Wurzeln halten das Bodengefüge zusammen. Dieser Idealzustand kann aus Gründen der Mechanisierung und Fruchtfolge nur annähernd erreicht werden. Bodenverluste durch Erosion sind allerdings irreversibel. Sie stellen somit einen endgültigen Verlust von volks- und betriebswirtschaftlichem Kapital dar. Ökonomische Schäden stellen aus volkswirtschaftlicher Sicht die Verschüttung von Entwässerungskanälen und Verkehrswegen, das verminderte Wasserspeichervermögen der Böden und die Eintragung von Nährstoffen (N, P) und Pflanzenschutzmitteln in Gewässer dar. Betriebswirtschaftliche Schäden ergeben sich einerseits durch Verlagerung von Ton, Humus, Nährstoffen verbunden mit Ertragsminderungen, andererseits infolge mechanischer Beeinträchtigung der Pflanzen durch Verletzung oder Verschlammung sowie durch den Aufwand und die Kosten für die Einebnung erodierter Ackerflächen.

Aus bisheriger Sicht wird die Klimaänderung in Ostösterreich zu einer Erhöhung der Lufttemperatur führen (Formayer et al., 2001). Modellrechnungen zeigen, dass hinsichtlich des Jahresniederschlages mit keinem eindeutigen Trend zu rechnen ist, jedoch von starken Verschiebungen des Niederschlages in den Jahreszeiten auszugehen ist. In einer Studie kommen Semenov und Bengtson (2002) zu dem Schluss, dass sich in Mitteleuropa die Jahresniederschlagssumme bis 2100 nicht gravierend ändern wird, die Niederschlagshäufigkeit jedoch um etwa 15% abnehmen wird: Dies wird einen Anstieg der Niederschlagsintensität und somit auch der Regenerosivität zur Folge haben (Abb. B-1).

Die Klimaerwärmung wird einen Einfluss auf die Verdunstung und damit auf den Bodenwasserhaushalt haben. Steigende Erosivität der Niederschläge wird bei gleichbleibender Bodennutzung infolge der veränderten hydrologischen Bedingungen in vielen Fällen zu einem Anstieg des Oberflächenabflusses und der Bodenerosion führen (Abb. B-1). Nach Schätzungen der EU wird als Folge der Klimaänderung die Gefahr der Wassererosion bei etwa 80% der ackerbaulich genutzten Flächen bis 2050 zunehmen (EEA, 2000).

Dieser höhere Bodenabtrag bewirkt nicht nur größere Schäden auf der betroffenen Fläche, sondern führt durch Deposition auch zu Schäden auf benachbarten Feldern, an Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen. Vor allem führt der Eintrag von Sedimenten und daran gebundenen Nähr- und Schadstoffen in Vorflutern zu einer wesentlichen Beeinträchtigung der Wasserqualität und bringt Probleme durch Verlandung von Stauräumen.

Durch den Temperaturanstieg und die Niederschlagsveränderung werden sich für die Pflanzen veränderte Wachstumsbedingungen ergeben, die sich teilweise positiv, vor allem aber negativ auf die Entwicklung der Bodenerosion auswirken werden. Maßgebliche Kriterien stellen dabei u.a. die Bodenbedeckung durch die Pflanzen sowie durch direkt am Boden liegende Pflanzenreste, die Wurzelentwicklung und der Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden dar (Abb. B-1).

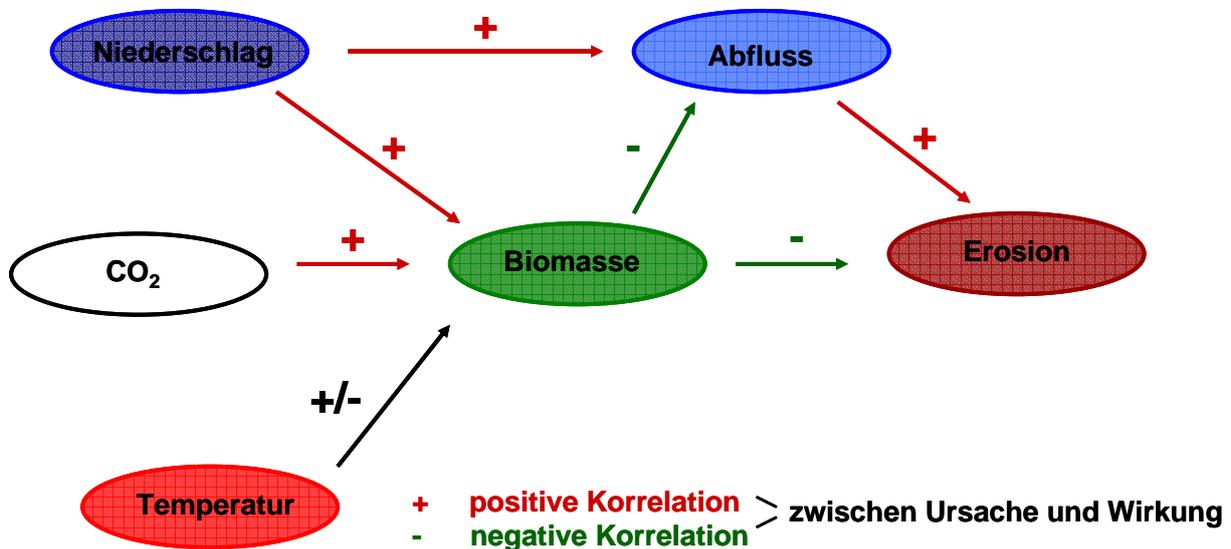


Abb. B-1: Wesentliche Wirkungspfade ausgewählter Klimafaktoren auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag (modifiziert nach: Pruski and Nearing, 2002)

Nearing et al. (2005) führten Simulationen mit sieben Erosionsmodellen durch, um den Einfluss zukünftiger Klimaszenarien auf Abfluss und Abtrag abzuschätzen. Es zeigte sich, dass Veränderungen im Niederschlag (Höhe, Intensität und zeitliche Verteilung) größere Auswirkung auf den Bodenabtrag als auf den Oberflächenabfluss haben. Niederschlagsintensität und Bodenbedeckung – hier vor allem die Bedeckung durch am Boden liegende Pflanzenreste - haben den größten Einfluss auf Erosion.

Scholz et al. (2008) verwendeten ein Erosionsmodell, um die die Änderungen für ein Klimaszenario 2070-2099 und das Emissionsszenario SRES A2 im Vergleich zum Zeitraum 1960-1989 aufzuzeigen. Die Berechnungen erfolgten für Zuckerrübenanbau in Oberösterreich mit und ohne konservierender Bodenbearbeitung. Das betrachtete zukünftige zeigte zwar keine signifikante Änderung des Jahresniederschlages, aber eine deutliche Verschiebung der Sommerniederschläge hin zu den Herbst-, Winter- und Frühjahrsmonaten. Die höheren Niederschläge im Frühjahr und Herbst führten zu saisonal höheren Erosionsraten. Dieser Anstieg wurde durch die verminderte Erosionsgefährdung im Sommer mehr als wett gemacht. Für zukünftige Verhältnisse wurden für alle Bearbeitungsvarianten Erosionsrückgänge zwischen 11 und 21% simuliert. Die drei betrachteten Bewirtschaftungsformen mit reduzierter Bearbeitungsintensität verminderten die Erosionsraten um 49-87%. O'Neal et al. (2005) fanden vergleichbare Ergebnisse für den Mittelwesten der USA.

In den vergangenen Jahren wurden in Österreich im Rahmen des ÖPUL-Programmes verschiedene Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen wie Mulch- und Direktsaatmethoden empfohlen, die eine Verminderung der Bodenerosion durch Wasser bewirken sollen (Klik et al., 2000). Ziel dabei ist die möglichst ganzjährige Bedeckung des Bodens. Diese Maßnahmen, bei welchen die Bearbeitungsintensität des Bodens stark reduziert wird, führen in Kombination mit Zwischengründecken während des Winters zu einer Verbesserung der bodenhydrologischen Kennwerte und insgesamt zu einer Verbesserung der Bodenqualität (Hofmann, 2005).

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

Es gilt nun zu überprüfen, ob diese Maßnahmen, die unter den derzeitigen Klimabedingungen große Effizienz aufweisen (Klik, 2003), auch unter den angenommenen Temperatur- und Niederschlagsveränderungen ebenso wirksam sind oder Adaptierungen erfolgen müssen.

Übergeordnetes Ziel dieses Vorhabens ist es, für ein kleines landwirtschaftlich genutztes Einzugsgebiet im Nordosten Österreichs die Wirksamkeit ausgewählter Bodenschutzmaßnahmen unter den veränderten zukünftigen Klimabedingungen im Hinblick auf Sedimentaustrag und Bodenwasserverfügbarkeit zu überprüfen. Erweisen sich die überprüften Maßnahmen als nicht effizient genug, sind Adaptierungen vorzunehmen und ihre Schutzwirkung zu berechnen.

Basierend auf den Ergebnissen werden Empfehlungen für zukünftige Bodenschutzmaßnahmen für den Nordosten Österreichs ausgearbeitet.

Als Teilziele können angegeben werden:

- 1) Ermittlung des Einflusses des Temperaturanstiegs und veränderter Niederschlagsintensitäten auf die Bodenerosion und den Oberflächenabfluss in einem ackerbaulich genutzten Einzugsgebiet im Nordosten Österreichs
- 2) Ermittlung des Einflusses unterschiedlicher Bodenbewirtschaftungssysteme auf Erosion und Oberflächenabfluss
- 3) Ableitung von Bodennutzungsempfehlungen.

B-2 Bodenschutzmaßnahmen

B-2.1 Allgemeines

Bodenerosion ist in Naturlandschaften ein natürlicher Prozess und nimmt in intakten Waldlandschaften keine besorgniserregenden Formen an. Auf Flächen mit intensivem Ackerbau, die lange Zeit nicht über eine geschlossene Pflanzendecke verfügen, kann Wassererosion zu großen Schäden führen. Da die Nutzung des Bodens für die Ernährung des Menschen unerlässlich ist, muss ein „Restrisiko“ durch Bodenerosion auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in Kauf genommen werden.

Allerdings gibt es ausreichende Schutzmaßnahmen innerhalb einer standortangepassten Landnutzung, welche dieses Restrisiko gering halten. Vier große Bereiche sind bekannt und teilweise sehr wirksam (Frielinghaus et al., 1997):

- 1) Mittel- und kurzfristig durchsetzbare Maßnahmen auf den Gebieten einer wasserbremsenden Infrastruktur und Flurgestaltung
- 2) Kurz- und mittelfristig durchsetzbare Maßnahmen auf dem Gebiet einer bodenbedeckenden Anbaugestaltung in erosionsgefährdeten Gebieten
- 3) Kurz- und mittelfristig durchsetzbare Maßnahmen auf dem Gebiet der bodenschonenden Bewirtschaftung gefährdeter Ackerflächen mit intensiver Nutzung
- 4) Kurz- und mittelfristig durchsetzbare Maßnahmen zur Verminderung der Lasteinträge und Spurbelastung erosionsgefährdeter Flächen.

Bodenerosion durch Wasser kann in der Regel nicht durch eine Einzelmaßnahme, sondern nur durch ein Maßnahmenpaket vermieden werden (Klik et al., 2000; Abb. B-2). Jede einzelne Komponente erfüllt dabei eine oder mehrere der folgenden Funktionen:

- 1) Schutz der Bodenoberfläche gegen Tropfenaufprall
- 2) Kontrolle der Rillen- und flächenmäßigen Erosion
- 3) Erosionsfreie Ableitung des Oberflächenabflusses
- 4) Sammlung von erodiertem und transportiertem Bodenmaterial.

Entscheidende Faktoren bei der Planung und Auswahl von Erosionsschutzmaßnahmen sind ihre Wirksamkeit und Kosten. Die entsprechenden Maßnahmen sollten von kostengünstigeren (ackerbauliche und pflanzenbauliche Maßnahmen) ausgehend über die kostenintensiven Maßnahmen (technische Maßnahmen) ausgewählt werden (Tab. B-1).

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

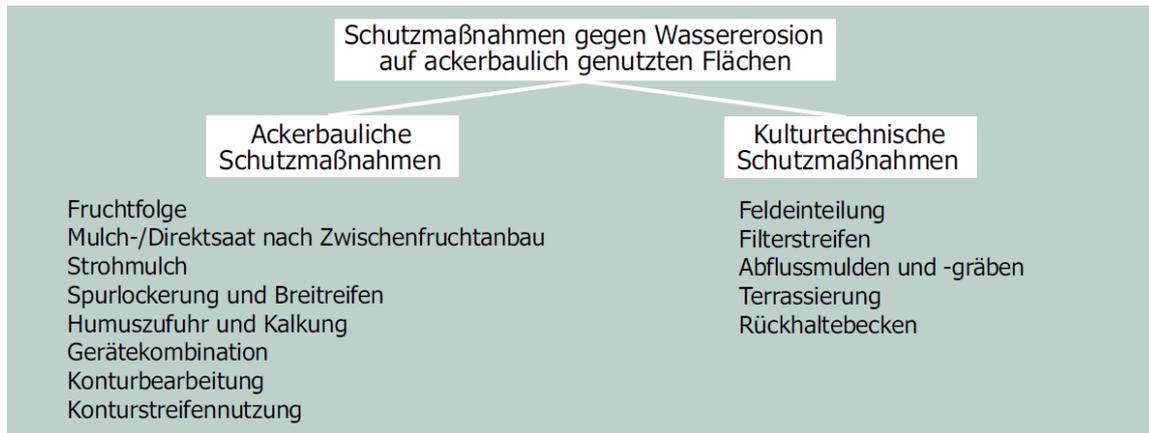


Abb. B-2: Übersicht über Schutzmaßnahmen gegen Bodenerosion (aus Klik et al., 2000)

Tab. B-1: Bewertung von Erosionsschutzmaßnahmen (modifiziert nach: Klik und Baumer, 1994)

Erosionsschutzmaßnahme	Bewertung				
	I	II	III	IV	V
konservierende Bodenbearbeitung	mittel	hoch	mittel	mittel	mittel
Direktsaat	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel
Filterstreifen in Hangmitte	hoch	mittel	mittel	hoch	hoch
Anlage von Pufferstreifen am Hangfuß					
einfache Pufferstreifen (Oberflächenabfluss)	mittel	hoch	mittel	niedrig	mittel
als breite Wasserrinnen ausgeführt	hoch	mittel	niedrig	mittel	hoch
Bepflanzung besonder stark erosionsgefährdeter Flächen	hoch	mittel	mittel	hoch	hoch
einfache Schutzpflanzung oder Begrünung	niedrig	mittel	mittel	mittel	hoch
Konturbearbeitung					
ohne parallele Terrassen	mittel	mittel	hoch	mittel	mittel
mit parallelen Terrassen	mittel	mittel	hoch	mittel	hoch
begraste Abflussmulden	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel
Bepflanzun von natürlichen Abflussmulden	hoch	hoch	hoch	mittel	hoch
Steilterrassen	hoch	mittel	niedrig	hoch	mittel

Bewertung:

- I Effizienz hinsichtlich Erosionsschutz
- II Praxistauglichkeit
- III Wirtschaftlichkeit
- IV positive Auswirkung auf den Wasserhaushalt
- V positive Auswirkung auf Ökologie und Landschaftsbild

B-2.2 Bodenschonende Bearbeitungsverfahren

Die wichtigsten Merkmale konservierender Bearbeitungsverfahren wie Mulch- und Direktsaat sind reduzierte Bearbeitungsintensität (durch weniger Überfahrten), geringere Tiefe des mechanischen Eingriffs und das Belassen von Ernterückständen auf der Bodenoberfläche (Mulch). Die bodenschonende Bearbeitung verzichtet auf bodenwendende Vorgänge (Pflug). Es gibt Verfahren mit und ohne krumentiefe Lockerung (Tab. B-2).

Tab. B-2: Übersicht über Bodenbearbeitungssysteme (aus: Klik et al., 2000)

Bodenbearbeitungssystem		Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat
Konventionelle Bodenbearbeitung		wendend: – Pflug	– Saatbettkombination – Kreiselegge – Zinkenrotor	– Drillsaat – Einzelkornsaat
Konservierende Bodenbearbeitung		mischend: – Grubber – Schichtengrubber – Parapflug – Scheibenegge	– Saatbettkombination – Kreiselegge – Zinkenrotor vor Gründeckenanbau und vor Hauptfrucht	– Drillsaat – Einzelkornsaat in verbleibende Pflanzenrückstände (Mulchsaat)
Direktsaat	mit Gründeckenanbau	mit oder ohne vorhergehende wendende/mischende Bearbeitung	vor Gründeckenanbau – Saatbettkombination – Kreiselegge – Zinkenrotor	– Schiltsaat Drillsaat Einzelkornsaat
	ohne Gründeckenanbau	-----	-----	– Fräsrillsaat Einzelkornsaat

Im Österreichischen Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft Umweltgerechten (ÖPUL 2000) des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft sind für ackerbauliche Nutzung zwei Förderungsgegenstände beinhaltet, welche Schutzmaßnahmen gegen Bodenerosion durch Wasser darstellen:

- 1) Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter (Tab. B-3)
- 2) Erosionsschutz im Ackerbau

Bei der „Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter“ muss mindestens 20% der Ackerfläche eines Betriebes begrünt werden, wobei die in Tab. B-2 angeführten Begrünungsvarianten zur Auswahl stehen. Folgende Begrünungskulturen können verwendet werden:

- Abfrostdende Gründecken wie Senf, Öllein, Sonnenblume, Erbse, Phacelia, Gelbklees
- Winterharte Gründecken (kein Wintergetreide und kein Winterraps)
- Aufwuchs aus Ausfall von Ölsaaten und Eiweißpflanzen
- Aufgewachsene Untersaat nach Mais, Getreide und Ölkürbis
- Mischungen mit KPA-Winterungen mit max. 50% Flächenanteil
- Grünschnittroggensorten gemäß Saatgutgesetz.

Tab. B-3: Begrünungsvarianten nach ÖPUL 2000 (BMLFUW, 2000)

Begrünungsvarianten		spätester Aussaattermin	frühester Umbruch/Bearbeitung
A	Sommer-/Herbstbegrünung	20.8.	15.11.
B	abfrostdende Herbst-/Winterbegrünung	30.9.	15.2. Folgejahr
C	winterharte Herbst-/Winterbegrünung nur winterharte Begrünungen zulässig	15.10.	1.3. Folgejahr
D	Herbst-/Winterbegrünungen Anbau von mind. 2 Mischungspartnern in der Begrünung	31.8.	15.2.

Bei Maßnahme „Erosionsschutz im Ackerbau“ wird zusätzlich auf den begrünten Flächen mit Mulch- oder Direktsaat angebaut.

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

Optimaler Erosionsschutz ist gegeben, wenn die Begrünung möglichst lange im Frühjahr bestehen bleibt. Ein Umbruch der Begrünung im November wie bei Variante A ist daher von Standpunkt des Erosionsschutzes nicht sinnvoll.

Langjährige Untersuchungen des Einflusses von unterschiedlichen Bodenbearbeitungs- und -bewirtschaftungssystemen an drei Standorten in Niederösterreich ergaben, dass gegenüber konventioneller Bearbeitung (CT) durch Mulchsaat und Direktsaat der Bodenabtrag um 58 bzw. 71% reduziert werden kann. Die Mittelwerte (1994-2008) liegen bei 8,8 (CT), 3,7 (Mulchsaat) und 2,5 t.ha⁻¹.a⁻¹ (Direktsaat).

Strauss et al. (2004) wertete 168 Publikationen aus, in welchen die Effizienz von Mulchsaat- und Direktsaatverfahren auf Oberflächenabfluss und Bodenerosion untersucht wurde. Die untersuchten Flächen betragen zwischen 0,13 und 750 m², wobei der Mittelwert bei rd. 200 m² lag. Die mittlere Hangneigung lag bei etwa 10% bei einer Schwankungsbreite von 1-65%. Die Ergebnisse z.T. unter natürlichen Niederschlagsbedingungen und teilweise mit Hilfe von Starkregensimulationen im Feld ermittelt.

Die Auswertung ergab, dass durch konservierende Bodenbearbeitungsverfahren der Oberflächenabfluss gegenüber CT im Mittel um 27% vermindert werden konnte. Beim Bodenabtrag betrug die Reduktion rd. 77%. Aus den Ergebnissen lässt sich eine etwas höhere Effizienz der Direktsaat (Median 87%) gegenüber der Mulchsaat (Median 74%) ableiten.

B-3 Material und Methoden

B-3.1 Beschreibung des Projektgebietes

B-3.1.1 Allgemeines

Für die vorliegende Studie wurde als Untersuchungsgebiet ein landwirtschaftliches Einzugsgebiet im Bereich der KG. Mistelbach, NÖ, ausgewählt. Abbildung B-3 zeigt die Lage des 114,3 ha großen Gebiets (rote durchgezogene Linie). Im blau schraffierten Teileinzugsgebiet wurde seit 1994 ein detailliertes Messprogramm durchgeführt (Klik, 2003). Anhand der erhobenen Daten wurde das Erosionsmodell kalibriert (Klik und Zartl, 2001; Klik et al., 2005; Klik, 2006). Ein aus Orthophotos generierter digitaler Höhenlinienplan liegt vor.

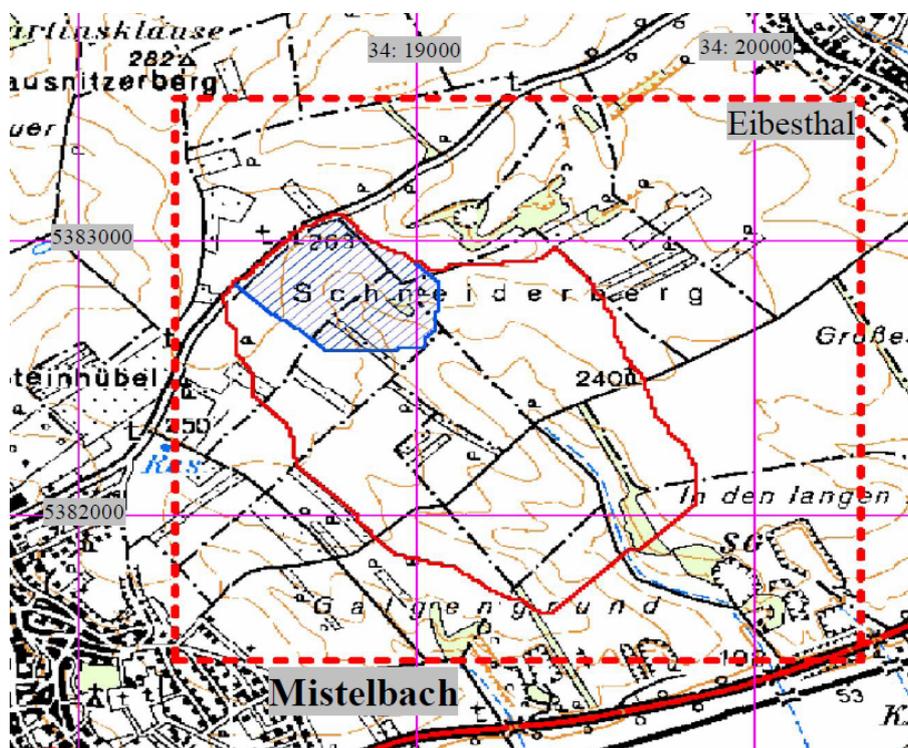


Abb. B-3: Lage Projektgebiet (Ausschnitt aus der Österreichkarte ÖK50) Koordinatensystem: Gauss-Krüger, Österreich; Geodätisches Datum: Österreichisches Datum (MGI)

B-3.1.2 Böden

Die laut Österreichischer Bodenkartierung (1995) im Untersuchungsgebiet vorkommenden Bodenformen zeigt Abbildung B-4. In Tabelle B-4 sind die entsprechenden Bodenarten, Korngrößenanteile und Humusgehalte angegeben. Demnach kommen nur drei unterschiedliche Bodenarten vor: sandiger Lehm (Bodenform 9), schluffiger Lehm (Bodenformen 33 und 35) und lehmiger Schluff (Bodenformen 13, 14, 24, 47, 50, 52, 55, 61).

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

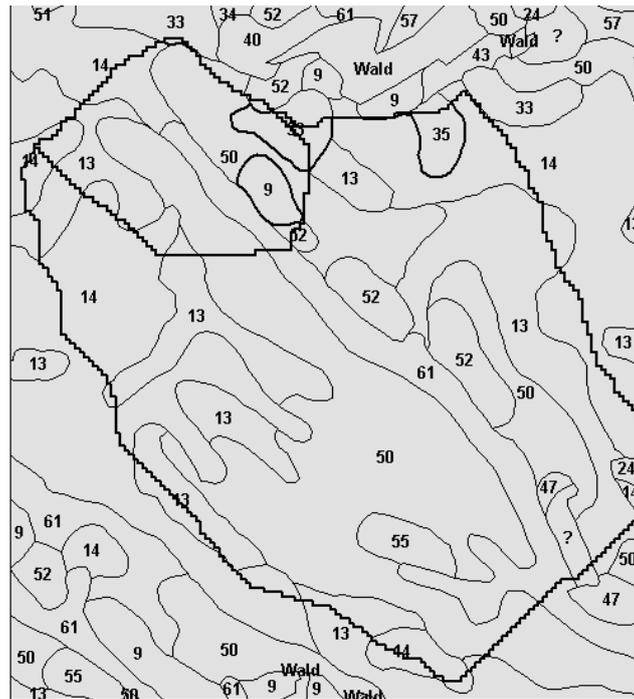


Abb. B-4: Bodenkarte für das untersuchte Einzugsgebiet

Tab. B-4: Textur und Zusammensetzung der in Mistelbach vorkommenden Bodenformen (ÖBK, 1995)

Bodenform	Bodenart, vorwiegend	Sand (%)	Ton (%)	Humus (%)
9	sL (sandiger Lehm)	22	24	2,5
13	IU (lehmiger Schluff)	15	19	2
14	IU	10	23	2,7
33	uL (schluffiger Lehm)	10	32	2
35	uL	7	27	1,4
50	IU	9	20	1,4
52	IU	18	18	1,5
61	IU	6	24	1,7
55, 47, 24	IU	k.A.	k.A.	k.A.

B-3.1.3 Landwirtschaftliche Betriebe und Fruchtfolgen

Die Flächen im Einzugsgebiet werden von 33 Betrieben bewirtschaftet. Vorherrschende Betriebstypen sind Marktfruchtbetriebe, daneben finden sich untergeordnet auch Veredelungsbetriebe mit Schweinemast und Schweinezucht. In Summe - darin sind auch Flächen der Betriebe außerhalb des Untersuchungsgebietes inkludiert - verfügen die Betriebe über rund 1.927 ha landwirtschaftliche Nutzfläche, mehr als 98 % davon ist Ackerland. Die Flächenausstattung je Betrieb reicht von 1,1 bis 209 ha, im Durchschnitt bewirtschaften die Betriebe 58,6 ha. Tabelle B-5 gibt einen Überblick über die im Jahr 2002 angebauten Kulturen.

Tab. B-5: Angebaute Kulturen der 33 Betriebe im Einzugsgebiet im Jahr 2002

Kultur	Betriebe mit Anbau	Flächen in ha	Anteil in %
Winterweichweizen	32	653,5	34,7%
Sommergerste	29	371,2	19,7%
Körnermais	22	194,7	10,4%
Winterraps zur Ölgewinnung	17	173,5	9,2%
Brachefläche mit Beihilfe	29	144,3	7,7%
Sonnenblumen	21	119,3	6,3%
Zuckerrüben ohne Saatgut	25	104,9	5,6%
Wintergerste	11	38,0	2,0%
Roggen	7	27,6	1,5%
Brachefläche ohne Beihilfe	21	18,7	1,0%
Körnererbsen	5	15,9	0,8%
Spätkartoffeln	1	6,4	0,3%
Frühe und mittelfrühe Speisekartoffeln	8	4,6	0,2%
Luzerne	3	2,7	0,1%
Triticale	2	2,1	0,1%
Kleegras	3	1,6	0,1%
Sonstiger Feldfutterbau	3	0,8	0,0%
Futterrüben und sonstige Futterhackfrüchte	3	0,7	0,0%
Rotklee und sonstige Kleearten	2	0,5	0,0%
Gemüse im Freiland Feldanbau	1	0,1	0,0%
Sonstige Ölfrüchte	1	0,1	0,0%

Abbildung B-5 zeigt die räumliche Verteilung der bewirtschafteten Flächen der einzelnen Betriebe im Anwendungsgebiet. Von 21 Betrieben liegen nur 1 bzw. 2 Feldstücke im Untersuchungsgebiet, bei den restlichen 9 Betrieben zwischen 3 und 6 Feldstücke.

Ein Feldstück stellt in diesen Fällen eine zusammenhängende Bewirtschaftungseinheit dar. In den meisten Fällen werden diese Feldstücke als einheitlicher Schlag mit derselben Kultur bebaut.

Für die insgesamt 68 Feldstücke wurden vier unterschiedliche ackerbauliche Fruchtfolgen festgelegt (Tab. B-6). Die Fruchtfolgen 1 und 2 sind ident, genauso wie 3 und 4. Die Fruchtfolgen 7, 8, 9 und 11 sind gleich haben jedoch unterschiedlichen Beginn der Fruchtfolge, ebenso wie die Fruchtfolgen 5, 6 und 10, welche sich durch unterschiedlichen Beginn unterscheiden. Fünf Feldstücke werden als Weingärten genutzt (FF 12), eine kleine Fläche ist seit vielen Jahren Waldstandort (FF 13) und auf einer Fläche befindet sich ein Retentionsbecken (FF 14) (Abb. B-5). Das landwirtschaftliche Wegenetz wird durch Nutzung 15 abgebildet.

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

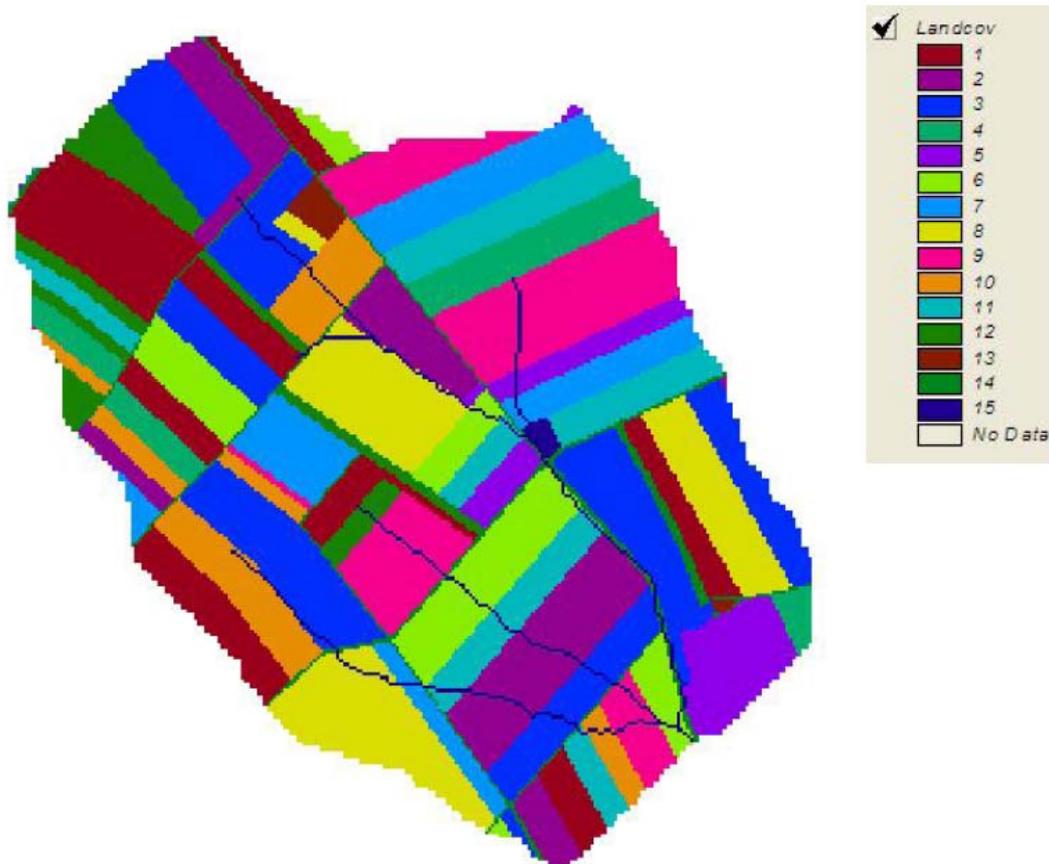


Abb. B-5: Räumliche Verteilung der Feldstücke und der entsprechenden Fruchtfolgen

Tab. B-6: Fruchtfolgen der einzelnen Feldstücke

Fruchtfolgen	Jahr 1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ZR	SG	Raps	WW B	Mais	SG B	KE	WW B	∪
2	KE	WW B	ZR	SG	Raps	WW B	Mais	SG B	∪
3	SG B	ZR	SG	Raps	WW B	KE	Mais	SB	WW B
4	SG B	ZR	SG	Raps	WW B	KE	Mais	SB	WW B
5	SB	WW B	SG B	ZR	SG	Raps	WW B	KE	Mais
6	SG	Raps	WW B	KE	Mais	SB	WW B	SG B	ZR
7	SB	WW B	Mais	SG B	KE	WW B	ZR	SG B	∪
8	SB	WW B	Mais	SG B	KE	WW B	ZR	SG B	∪
9	Mais	SG B	KE	WW B	ZR	SG B	SB	WW B	∪
10	SG	Raps	WW B	KE	Mais	SB	WW B	SG B	ZR
11	Mais	SG B	KE	WW B	ZR	SG B	SB	WW B	∪
12	begrüntes Rückhaltebecken								
13	Weg, Straße								
14	forstwirtschaftliche Nutzung								
15	Weingartennutzung								

B-3.2 Ausgewählte Bodenschutzmaßnahmen

Als Grundlage für die Auswahl von Bodenschutzmaßnahmen wurde das ÖPUL 200 gewählt. Folgende Bodenbearbeitungs- und –bewirtschaftungsszenarien werden miteinander verglichen:

- 1) Konventionelle Bodenbearbeitung
- 2) Mulchsaat mit Herbst/Winterbegrünung (Variante C)
- 3) Direktsaat mit Herbst/Winterbegrünung (Variante C)
- 4) Als Maximalvariante wird Grünlandnutzung im gesamten Einzugsgebiet angenommen.

B-3.3 Klimaszenarien

Die Wirksamkeit der untersuchten Bodenschutzmaßnahmen soll für unterschiedliche Zeiträume verglichen werden:

- derzeitiger Zustand: Vergleichsperiode 1961 – 1990
- Situation 2050: Vergleichsperiode (2035-2050 bzw. 2040-2060).

Für die verwendeten Klimadaten wurde der Standort Groß-Enzersdorf im Marchfeld, NÖ, herangezogen, da dafür umfangreiche Daten zur Verfügung stehen.

Die verwendeten Klimaszenarien beruhen auf zwei verschiedenen Emissionsszenarien (SRES A1B und SRES A2) und zwei verschiedenen Klimamodellen. Ein dynamisches und statistisches Downscaling wurde verwendet, um regionale Klimaszenarien zu generieren. Tagesdaten wurden mit Hilfe eines Wettergenerators errechnet. Für jedes Szenario wurden Daten für 100 Jahre generiert, welche für die Erosionssimulationen verwendet wurden.

A) Emissionsszenario: SRES A1B

Statistisches Downscaling des globalen Klimamodells ECHAM 5 - Martin Dubrovsky (Wettergenerator M&Rfi LAT 16.562; LON 48.199; ELEV157)

Berechnete Klimasensitivität des GCM (MAGICC Modell):

hoch: +4.5 K bei doppeltem atmosphärischem CO₂
niedrig: +1.5 K bei doppeltem atmosphärischem CO₂

Wettergenerator (verlinkte tägliche und monatliche Periode)

ECHAM 5: SRES A1B

Referenzperiode: 1961-1990

Klimaszenario: Periode 2035-2050, jeweils hohe (ECHAM5_high) und niedrige Klimasensitivität (ECHAM5_low)

B) Emissionsszenario: SRES A2

Statistisches Downscaling des globalen Klimamodells ECHAM 4 - Martin Dubrovsky (Wettergenerator M&Rfi LAT 16.562; LON 48.199; ELEV157)

Berechnete Klimasensitivität des GCM (MAGICC Modell):

hoch: +4.5 K bei doppeltem atmosphärischem CO₂
niedrig: +1.5 K bei doppeltem atmosphärischem CO₂

Wettergenerator (verlinkte tägliche und monatliche Periode)

ECHAM 4: SRES A2

Referenzperiode: 1961-1990

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

Klimaszenario: Periode 2040- 2060, jeweils hohe (ECHAM4_high) und niedrige Klimasensitivität (ECHAM4_low)

In Tab.B-8 sind die Monatsmittelwerte bzw. Monatssummen der Klimaeingabedaten für das WEPP Modell angegeben. Die maximalen Niederschlagsintensitäten wurden mit Hilfe einer regional statistisch kalibrierten Funktion berechnet (Heilig, 2009).

Hierbei wird die maximale 30-Min Intensität aus dem Tagesmaximum des Niederschlages abgeleitet. Diese Funktion wurde für Mistelbach aus Niederschlagsdaten 2002-2008 erstellt.

Jänner	$y = 0,152.x + 0,058$
Februar	$y = 0,111.x + 0,046$
März	$y = 0,138.x + 0,059$
April	$y = 0,192.x + 0,078$
Mai	$y = 0,318.x + 0,037$
Juni	$y = 0,054.x - 0,076$
Juli	$y = 0,491.x - 0,045$
August	$y = 0,244.x + 0,223$
September	$y = 0,214.x + 0,071$
Oktober	$y = 0,202.x + 0,039$
November	$y = 0,179.x + 0,040$
Dezember	$y = 0,084.x + 0,077$

Die mittleren Jahresniederschläge (Tab. B-7 und B-8) der unterschiedlichen Szenarien betragen zwischen 440 mm (ECHAM5 high) und 535 mm (1961-1990). Die Schwankungsbreite innerhalb der generierten Simulationsdauer von 100 Jahren liegt zwischen 346 mm (ECHAM5 high) und 782 mm (ECHAM4 low).

Tab. B-7: Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte der simulierten Jahresniederschläge für die unterschiedlichen Klimaszenarien

	1961-1990	ECHAM4 low	ECHAM4 high	ECHAM5 low	ECHAM5 high
Mittelwert	535	500	506	471	440
Minimum	399	361	382	351	346
Maximum	743	782	758	775	622

Tab. B-8: Klimaeingabedaten für das Erosionsmodell (Monatsmittelwerte)

Parameter	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Sum/MW
Niederschlag (mm)													
1961 - 1990	32,07	31,36	34,01	45,61	58,54	60,97	54,29	51,54	41,89	44,58	42,19	37,52	534,57
ECHAM4 low	31,12	30,20	33,28	38,74	51,11	64,32	48,10	42,55	47,15	36,63	40,99	34,26	498,44
ECHAM4 high	37,52	26,24	31,00	40,21	60,82	54,82	42,53	56,92	34,90	37,81	41,84	40,91	505,51
ECHAM5 low	38,20	30,21	40,64	29,71	45,65	49,64	43,81	34,95	33,15	33,51	44,59	46,04	470,11
ECHAM5 high	30,55	40,83	32,55	49,21	40,62	28,13	24,08	25,87	33,61	47,88	41,11	44,75	439,18
max. Lufttemperatur (°C)													
1961 - 1990	1,98	3,78	9,49	15,01	19,77	22,97	25,16	24,90	20,77	15,23	7,87	3,13	14,17
ECHAM4 low	3,70	5,93	11,52	16,21	21,01	24,06	26,54	27,26	21,79	15,65	5,84	4,18	15,31
ECHAM4 high	6,41	7,94	12,57	16,89	22,11	25,35	28,28	27,28	23,49	17,65	9,82	6,36	17,01
ECHAM5 low	3,42	6,21	10,76	15,77	21,14	24,14	26,77	26,79	21,72	15,99	8,39	4,93	15,50
ECHAM5 high	7,42	11,41	16,42	21,61	24,86	27,59	27,80	22,46	16,94	9,05	5,82	4,49	16,32
min. Lufttemperatur (°C)													
1961 - 1990	-5,39	-3,71	0,25	4,64	8,78	12,14	13,75	13,48	10,30	5,53	0,81	-3,57	4,75
ECHAM4 low	-3,41	-2,15	1,79	5,23	9,44	12,83	14,72	14,83	11,19	6,34	-0,76	-2,57	5,62
ECHAM4 high	-0,86	-0,14	2,95	6,15	10,41	14,08	16,47	15,03	12,87	8,03	2,56	-0,42	7,26
ECHAM5 low	-3,63	-1,76	1,59	5,40	9,89	13,13	15,23	15,28	11,54	6,63	1,54	-1,63	6,10
ECHAM5 high	-0,65	2,21	6,04	10,30	13,84	16,03	16,30	11,89	7,54	2,19	-0,78	-2,62	6,86
Strahlung (langleys/d)													
1961 - 1990	75,17	132,85	225,95	334,86	433,32	458,65	453,60	390,56	285,63	180,61	86,18	62,14	259,96
ECHAM4 low	81,14	143,83	241,67	364,26	458,84	484,37	474,36	430,89	301,49	177,80	62,64	63,16	273,70
ECHAM4 high	78,14	148,84	245,57	365,25	457,93	495,97	490,93	431,90	307,26	184,68	93,05	63,19	280,23
ECHAM5 low	78,14	145,82	230,95	352,54	450,05	502,62	491,97	447,88	302,55	183,67	86,21	62,14	277,88
ECHAM5 high	153,30	232,93	355,37	443,35	522,90	519,74	479,97	314,10	192,62	86,43	62,21	78,66	286,80
Windgeschwindigkeit (m/s)													
1961 - 1990	5,40	5,22	5,38	5,31	4,81	4,33	3,99	3,91	4,51	4,95	5,45	5,36	4,88
ECHAM4 low	5,40	5,22	5,38	5,31	4,81	4,33	3,99	3,91	4,51	4,95	5,35	5,36	4,88
ECHAM4 high	5,40	5,22	5,38	5,31	4,81	4,33	3,99	3,91	4,51	4,95	5,45	5,36	4,88
ECHAM5 low	5,40	5,22	5,38	5,31	4,81	4,33	3,99	3,91	4,51	4,95	5,45	5,36	4,88
ECHAM5 high	5,22	5,39	5,30	4,79	4,33	4,00	3,91	4,52	4,95	5,46	5,37	5,39	4,89
Windrichtung (°)													
1961 - 1990	210,77	203,57	186,19	176,87	168,45	177,91	179,24	178,06	189,55	193,78	212,79	211,95	190,76
ECHAM4 low	210,77	203,57	186,19	176,87	168,45	177,91	179,24	178,06	189,55	193,78	211,37	211,95	190,64
ECHAM4 high	210,77	203,57	186,19	176,87	168,45	177,91	179,24	178,06	189,55	193,78	212,79	211,95	190,76
ECHAM5 low	210,77	203,57	186,19	176,87	168,45	177,91	179,24	178,06	189,55	193,78	212,79	211,95	190,76
ECHAM5 high	201,72	186,55	177,47	168,03	178,27	179,59	178,07	189,07	194,88	212,61	212,00	210,56	190,73
Taupunkt (°C)													
1961 - 1990	-5,44	-3,83	0,08	4,59	8,19	11,09	13,01	13,33	10,52	5,87	0,67	-2,01	4,67
ECHAM4 low	-2,19	-0,83	3,97	7,99	12,18	15,15	17,54	17,82	13,98	8,57	-0,85	-1,53	7,65
ECHAM4 high	-0,93	-0,18	2,87	5,90	9,89	12,81	15,37	18,24	12,73	8,13	2,38	-0,50	7,23
ECHAM5 low	-3,78	-1,99	1,31	5,30	9,20	11,72	14,11	14,48	11,38	6,60	3,28	-1,74	5,82
ECHAM5 high	-0,93	1,88	5,87	9,61	12,22	14,60	15,11	11,65	7,46	1,93	-0,89	-2,76	6,31
Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Regentages nach einem Regentag													
1961 - 1990	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06
ECHAM4 low	0,06	0,06	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08	0,07
ECHAM4 high	0,07	0,05	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07
ECHAM5 low	0,06	0,05	0,06	0,05	0,07	0,07	0,06	0,06	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
ECHAM5 high	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,06
Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Regentags nach einem trockenen Tag													
1961 - 1990	0,20	0,17	0,19	0,18	0,19	0,19	0,20	0,19	0,17	0,18	0,19	0,20	0,19
ECHAM4 low	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20
ECHAM4 high	0,20	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,21	0,20	0,19	0,19	0,20	0,21	0,20
ECHAM5 low	0,18	0,16	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,17	0,18	0,19	0,19	0,18
ECHAM5 high	0,19	0,18	0,20	0,19	0,21	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20
Regentage pro Monat													
1961 - 1990	8,02	6,99	7,61	7,65	8,17	8,44	8,16	8,15	6,76	6,79	7,85	8,00	7,72
ECHAM4 low	8,02	7,75	8,60	8,14	8,42	8,76	8,63	8,21	7,69	8,20	8,12	8,45	8,25
ECHAM4 high	8,50	7,42	8,38	8,51	8,25	8,72	8,81	8,37	7,70	8,13	8,62	8,98	8,37
ECHAM5 low	7,65	6,47	7,36	7,38	7,95	8,19	7,71	7,68	6,72	7,14	7,99	7,88	7,51
ECHAM5 high	7,69	7,42	8,25	8,26	8,78	7,85	7,93	7,42	7,33	8,61	8,11	8,61	8,02
max 30-min Intensität I_{30} (mm.h⁻¹)													
1961 - 1990	5,47	5,02	6,23	11,25	23,54	41,97	36,15	17,87	14,61	13,98	9,75	3,68	
ECHAM4 low	5,79	3,98	5,87	11,33	23,40	39,82	35,12	15,48	14,99	11,00	9,60	3,83	
ECHAM4 high	6,94	4,22	5,56	10,69	24,61	38,06	28,62	15,09	12,31	11,65	10,33	4,20	
ECHAM5 low	11,12	13,68	8,29	9,56	44,98	34,41	41,55	20,60	23,68	13,49	16,87	7,21	
ECHAM5 high	9,30	10,17	21,08	37,79	13,30	19,50	24,75	15,82	22,36	15,83	11,79	6,07	

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

Ein Vergleich der verschiedenen Klimaszenarien mit dem Vergleichszeitraum zeigt für alle Szenarien einen geringeren Jahresniederschlag (Abb. B-6). Diese Abnahme beträgt bis zu 95 mm, das entspricht einer Verringerung um bis zu 18%. Der Rückgang wird vorwiegend für die Vegetationsperiode (April bis Oktober) simuliert.

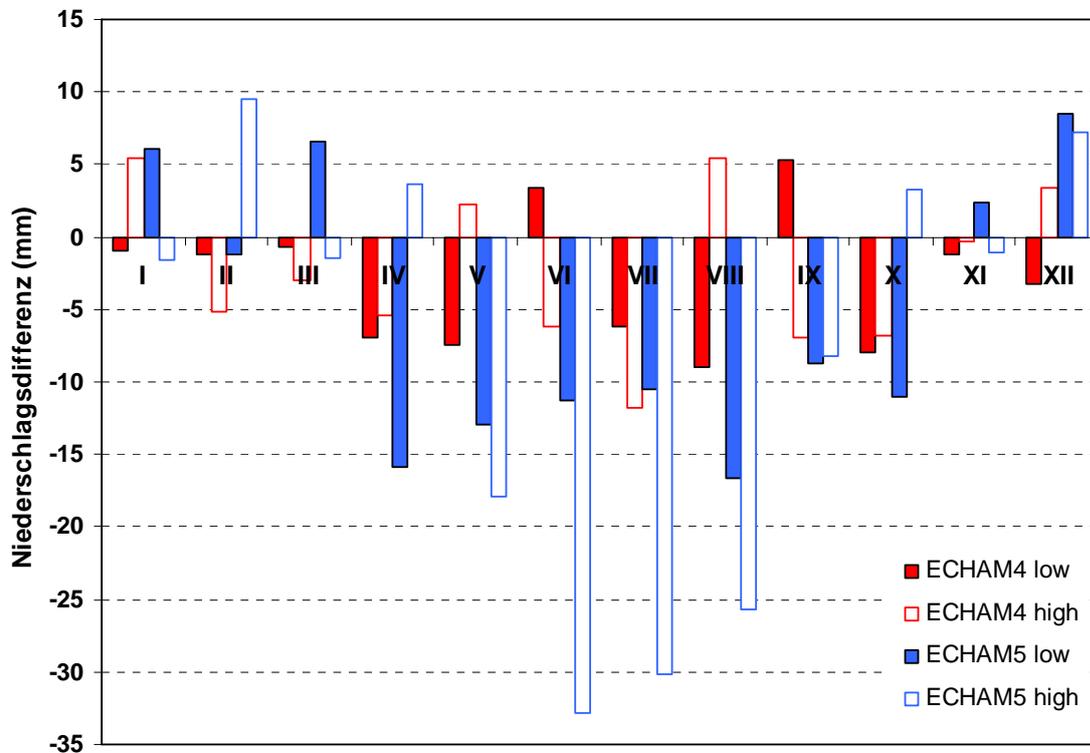


Abb. B-6: Differenzen im Monatsniederschlag zwischen den Szenarien ECHAM4 und ECHAM5 bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961-1990

Deutliche Unterschiede zwischen den beiden Szenarien ECHAM4 und ECHAM5 lassen sich bei den maximalen Tagesniederschlägen und 30-Minuten Regenintensitäten erkennen (Abb. B-7 und B-8). Für Erosionsereignisse sind neben der Niederschlagshöhe vor allem die kinetische Energie des Niederschlages sowie jene des Oberflächenabflusses ausschlaggebend. Ausgedrückt wird dies durch die sogenannte Erosivität des Niederschlages R , der als Produkt aus E_{kin} und I_{30} berechnet wird. Zumeist wird die kinetische Energie als Funktion der Niederschlagsintensität abgeleitet. Eine Reihe empirischer Formeln wurden dafür für verschiedene Klimaregionen vorgeschlagen (Wischmeier and Smith, 1958; Zanchi and Torri, 1981; Uijlenhoet and Stricker, 1999; Brown and Foster, 1987). Die beiden Klimaszenarien ECHAM5 weichen bei der Regenintensität von den anderen Werten insofern ab, dass sie zu Beginn und am Ende der Vegetationsperiode die Maximalwerte aufweisen. Im März und April sowie ab September ist die Bodenbedeckung durch Pflanzen in der Regel wesentlich geringer als während der Vegetationsperiode.

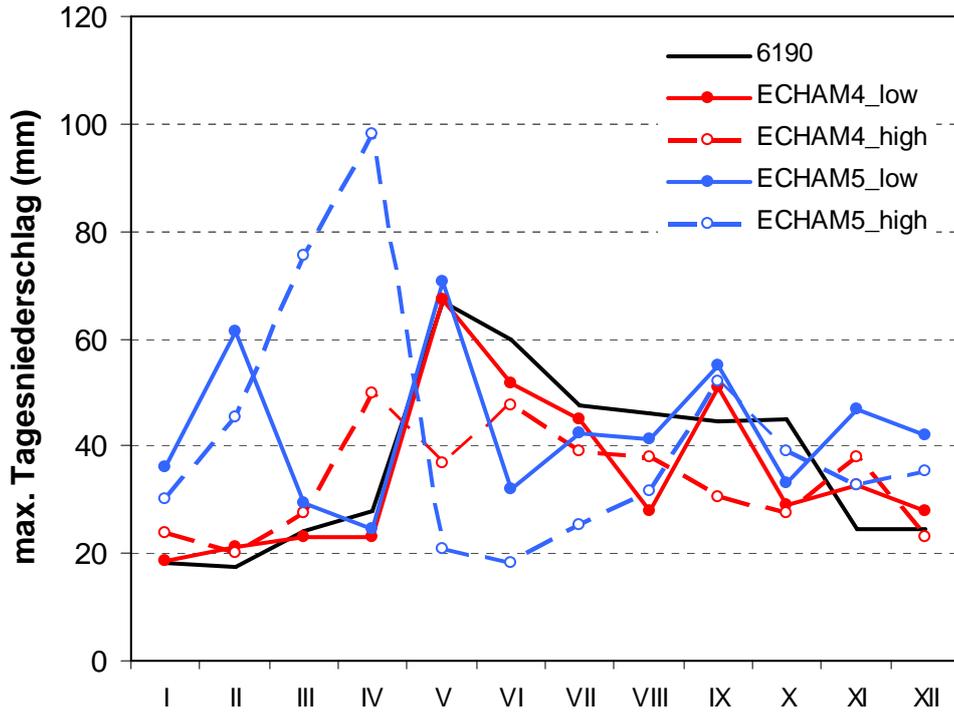


Abb. B-7: Monatliche maximale Tagesniederschlagshöhen

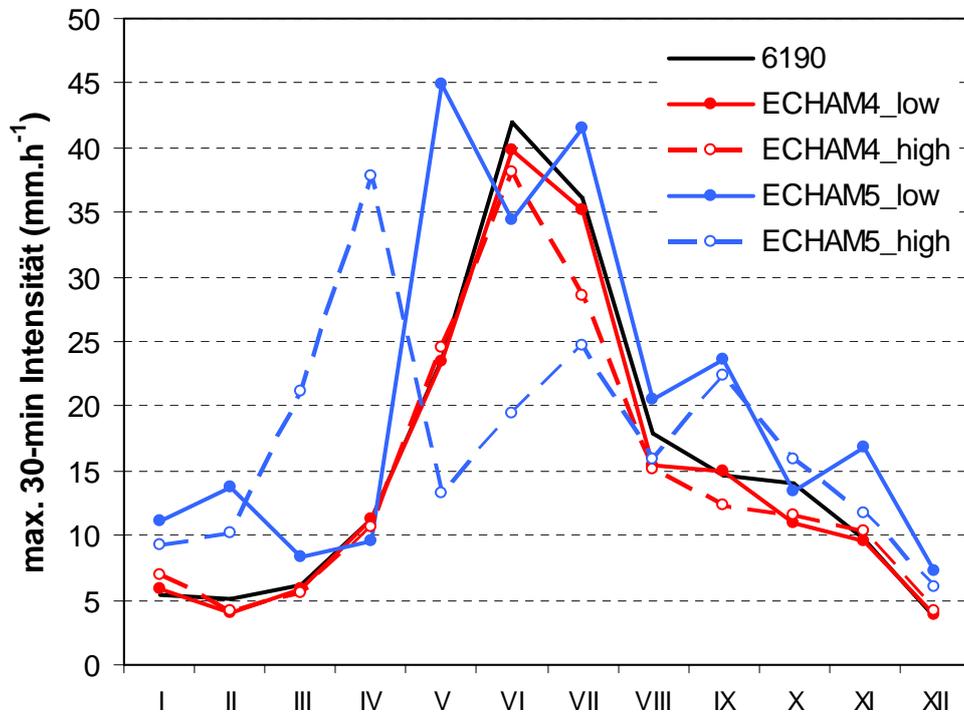


Abb. B-8: Monatliche maximale 30-min Niederschlagsintensitäten

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

B-3.4 Verwendetes Bodenerosionsmodell GeoWEPP

Als Simulationsmodell wurde das Modell GeoWEPP (Water Erosion Prediction Project; Flanagan and Nearing, 1995; Renschler, 2003) eingesetzt. Es handelt sich dabei um ein physikalisch basiertes Modell zur kontinuierlichen Simulation zur Berechnung von Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Sedimentaustrag in bzw. aus Einzugsgebieten mit landwirtschaftlicher, forstwirtschaftlicher und Weidenutzung.

Das WEPP Modell ermöglicht die Berechnung von flächenmäßiger und Rillenerosion, von Sedimenttransport und Deposition, Infiltration, Perkolation und Oberflächenabfluss. Hierbei wird eine zeitliche sowie durch Bodenbearbeitungsverfahren hervorgerufene Veränderung von Bodenkennwerten berücksichtigt. Das Pflanzenwachstumsmodul simuliert die Entwicklung der angebauten Kulturen sowie ihren Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt und auf die Bodenbedeckung. Die Bedeckung des Bodens durch das Blätterdach, aber auch durch auf dem Boden liegende Pflanzenreste stellen wesentliche Kennwerte für die Splash-Erosion dar.

Das GIS gestützte Interface GeoWEPP verwendet digitale geo-referenzierte Informationen wie Digitale Höhenmodelle, topografische Karten, Boden- und Bodennutzungskarten, um die für WEPP erforderlichen Modellinputparameter abzuleiten.

Als Ergebnisse liefert GeoWEPP auf täglicher Basis den Oberflächenabfluss aus dem Einzugsgebiet, den Sedimentaustrag aus dem Gebiet sowie das Sediment Delivery Ratio (SDR).

Das Sediment Delivery Ratio (SDR) wird angegeben als das Verhältnis zwischen jener Sedimentmenge, welche aus dem Einzugsgebiet ausgetragen wird und der gesamten Erosionsmenge im Einzugsgebiet selbst.

Die Erosion im Gebiet selbst kann durch Division der Sedimentaustragsmenge durch das SDR berechnet werden.

Anhand von mehrjährigen, gemessenen Abfluss- und Erosionsdaten von unterschiedlich großen Erosionsflächen (6-45 m²) im Einzugsgebiet mit verschiedenem Bewuchs, unterschiedlicher Bodenbearbeitung und -bewirtschaftung wurde das Erosionsmodell kalibriert und validiert (Klik und Zartl, 2001; Klik et al., 2005; Klik, 2006; Wurm, 2009).

B-4 Ergebnisse

B-4.1 Oberflächenabfluss

Im Vergleichszeitraum 1961-1990 wurden im Mittel 93 Niederschlagsereignisse pro Jahr registriert (Abb.B-9). Dabei handelt es sich um alle aufgetretenen Niederschläge unabhängig von ihrer Höhe. Mit ECHAM 4 werden geringfügig mehr Ereignisse und mit ECHAM5 annähernd gleich viele generiert. Nicht alle Ereignisse führen aber zu Oberflächenabfluss. Unter allen zukünftigen Klimaszenarien sinkt die Anzahl der Abflussereignisse von 70 auf 58 bis 66. Das ist eine Verminderung um 6-18%. Durch reduzierte Bodenbearbeitung (NT) und durch Grünlandnutzung (Grass) kommt es nahezu bei allen Szenarien zu einer mehr oder weniger starken Verringerung der Abflussereignisse. Nur bei ECHAM4 low führen Direktsaat und Grünland zu einem Anstieg der Ereignisse.

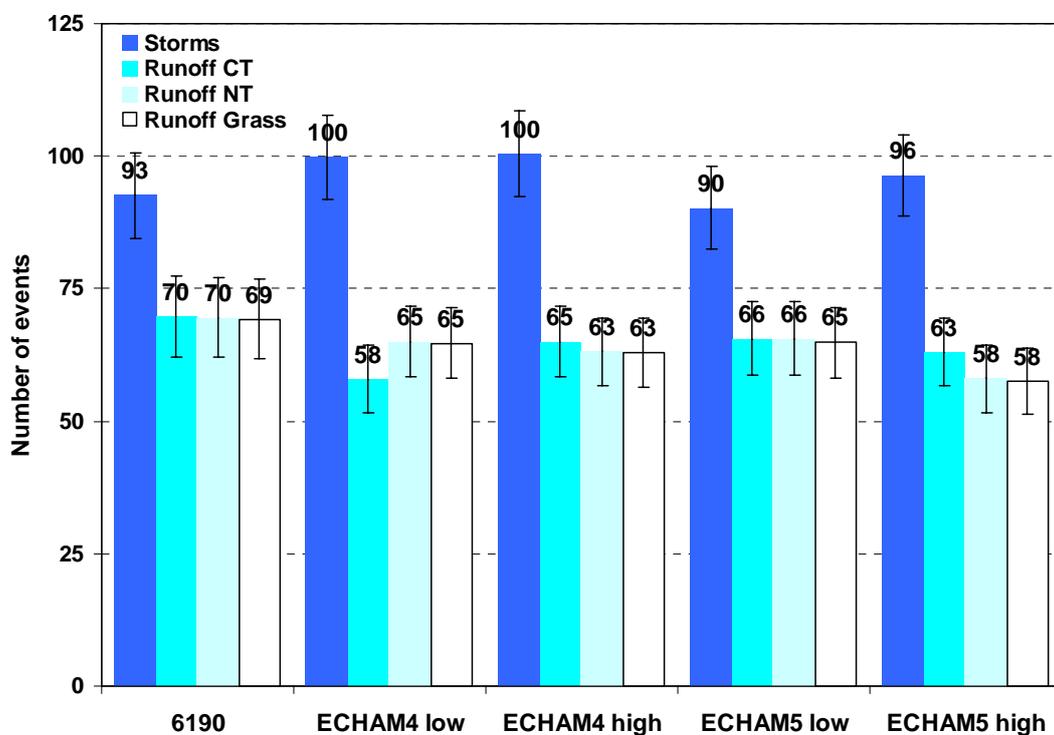


Abb. B-9: Anzahl der Niederschlags- und Abflussereignisse pro Jahr für die untersuchten Klimaszenarien und Bodenschutzmaßnahmen

Die Ergebnisse zeigen, dass bei konventioneller Bodenbearbeitung im langjährigen Mittel bei den verschiedenen Klimaszenarien zwischen 1,6 und 4,0 mm oberflächlich abfließen (Abb. B-101; Tab. B-9). Diese Mittelwerte sind niedrig und entsprechen Abflusskoeffizienten von 0,3% (ECHAM4 high) und 0,8% (6190 und ECHAM5 high). Trotz geringster Jahresniederschläge ergeben sich für ECHAM5 die höchsten Oberflächenabflüsse. Durch reduzierte Bodenbearbeitungsintensität wird der Oberflächenabfluss bei derzeitigen Klimabedingungen um 37% auf $2,5 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ reduziert. Unter ECHAM4 werden Abflüsse zwischen 1,0 mm (-37%) und 1,5 mm (-35%) simuliert, unter ECHAM5 Werte zwischen 3,2 mm (-22%) und 3,7 mm (-16%). Geringere Niederschläge in Kombination mit höheren Evapotranspirationsraten infolge höherer Lufttemperaturen führen insgesamt zu niedrigeren Bodenwassergehalten. Dadurch kann mehr Wasser infiltrieren und weniger Niederschlag fließt oberflächlich ab. Unter ECHAM5 ist dieser Effekt deutlich geringer als bei ECHAM4, da bei diesem Klimaszenario trotz geringer Wassergehalte im Boden die hohen Niederschlagsintensitäten die Infiltrations-

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

raten der Böden z.T. übersteigen und somit zum Oberflächenabfluss führen. Dies bedeutet, dass unter den angenommenen Klimaszenario ECHAM5 die Effizienz einer Direktsaatvariante hinsichtlich Wasserinfiltration in den Boden geringer ist als derzeit. Für vollständige Grünlandnutzung des Gebietes werden die niedrigsten Abflusswerte berechnet. Die Reduktionen betragen 77% unter heutigen Verhältnissen, rd. 75% unter ECHAM4 und zwischen 34 und 59% unter ECHAM5.

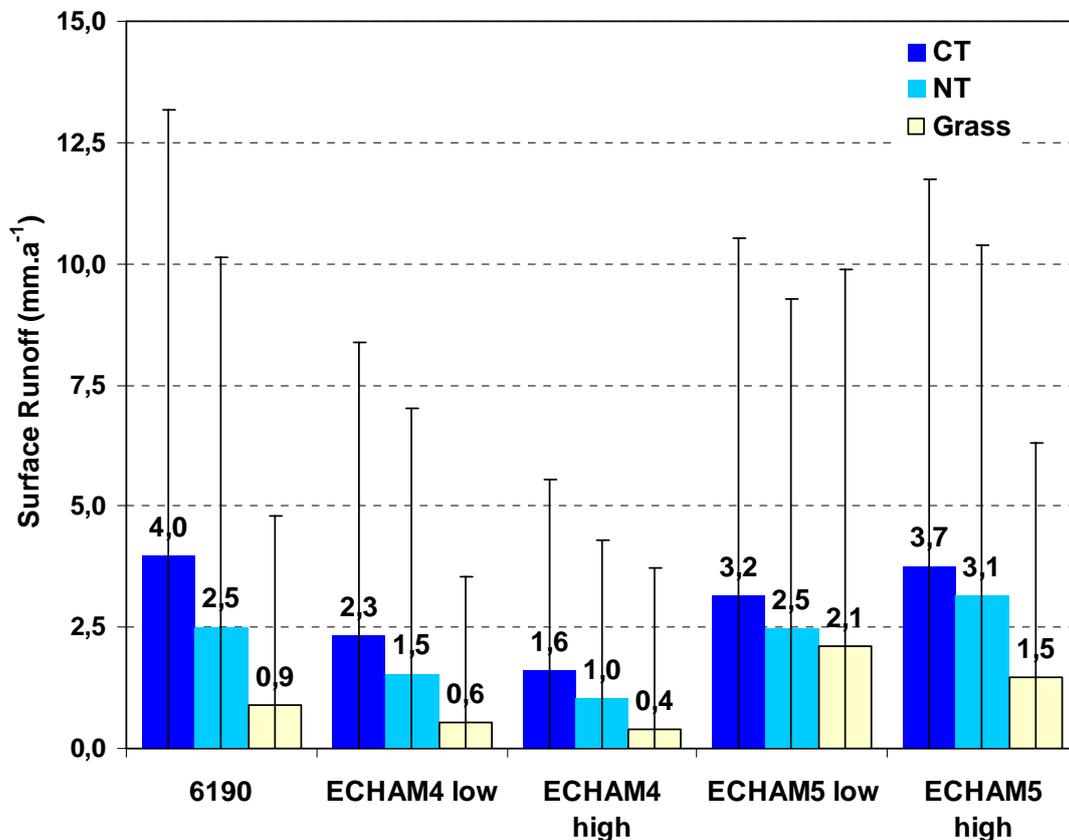


Abb. B-10: Mittelwerte und Standardabweichungen des jährlichen Oberflächenabflusses für die untersuchten Klimaszenarien und Bodenschutzmaßnahmen

Je geringer der Jahresniederschlag ist, desto niedrigere Abflusshöhen sollten auftreten. Unter ECHAM5 ist dies nicht der Fall. Trotz niedrigster Jahresniederschläge werden hierbei im Mittel die höchsten Abflüsse produziert. Betrachtet man die Ergebnisse hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes so ist zu erkennen (Abb. B-11 und B-12), dass der Großteil (47% bei CT und 55% bei NT) der Jahresabflussmenge im Mai entsteht. Dies ist auf verschiedene Gründe zurückzuführen. Jene Kulturpflanzen, die zwischen Mitte April und Anfang Mai angebaut werden, haben noch keine bzw. nur eine geringe Bodenbedeckung erreicht. Die hohen Regenmengen im Mai mit extremen Intensitäten führen zu hohen Bodenwassergehalten, wodurch aber die Infiltration abnimmt und der Abfluss ansteigt. Durch die hohen Intensitäten kommt es zu einer Verschlammung der Bodenoberfläche, was die Infiltrationskapazität des Bodens weiter verringert. Durch die kaum vorhandene Pflanzendecke ist fast ausschließlich nur Bodenevaporation gegeben und Transpirationsverluste treten nicht oder kaum auf.

Bei den anderen Klimaszenarien entsteht Oberflächenabfluss kontinuierlich während des Jahres. Aufgrund der geringeren monatlichen Niederschläge gegenüber dem derzeitigen Zustand gelangt bei gleichbleibender Evapotranspiration weniger zum Abfluss. Vergleicht man den zeitlichen Verlauf zwischen konventioneller Bearbeitung und Direktsaat, so ist er sehr ähnlich, auch wenn mit Direktsaat niedrigere Werte erzielt werden (vgl. Abb. B-10).

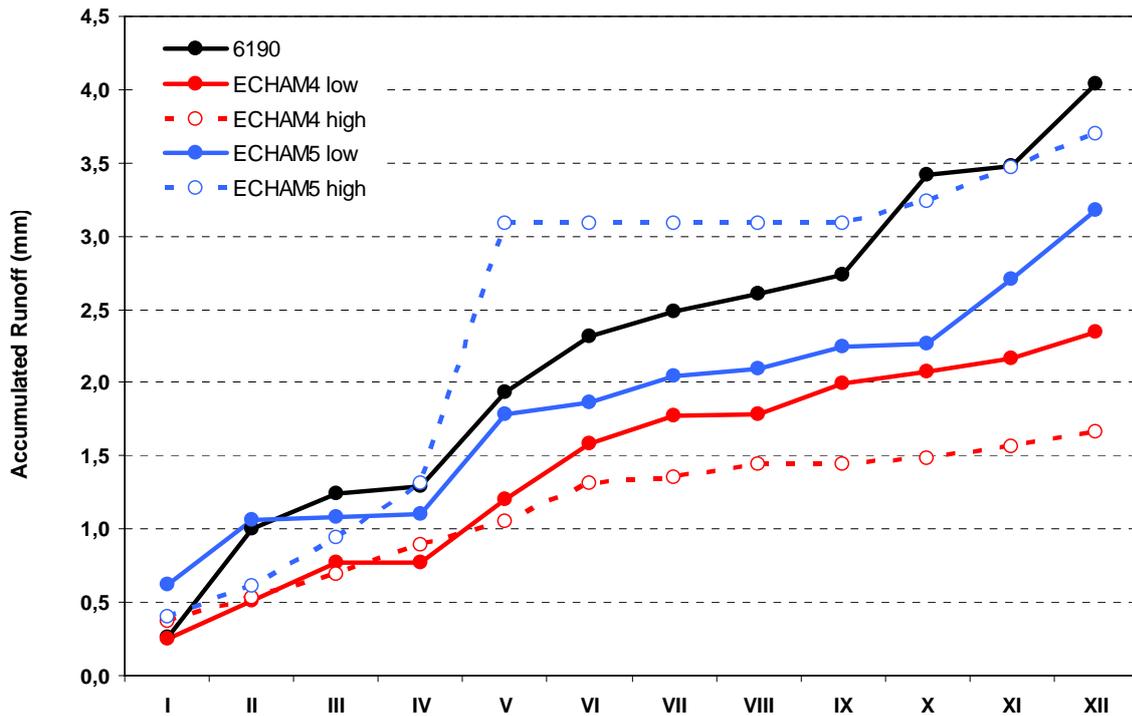


Abb. B-11: Zeitlicher Verlauf des Oberflächenabflusses bei konventioneller Bodenbearbeitung (CT) für die untersuchten Klimaszenarien

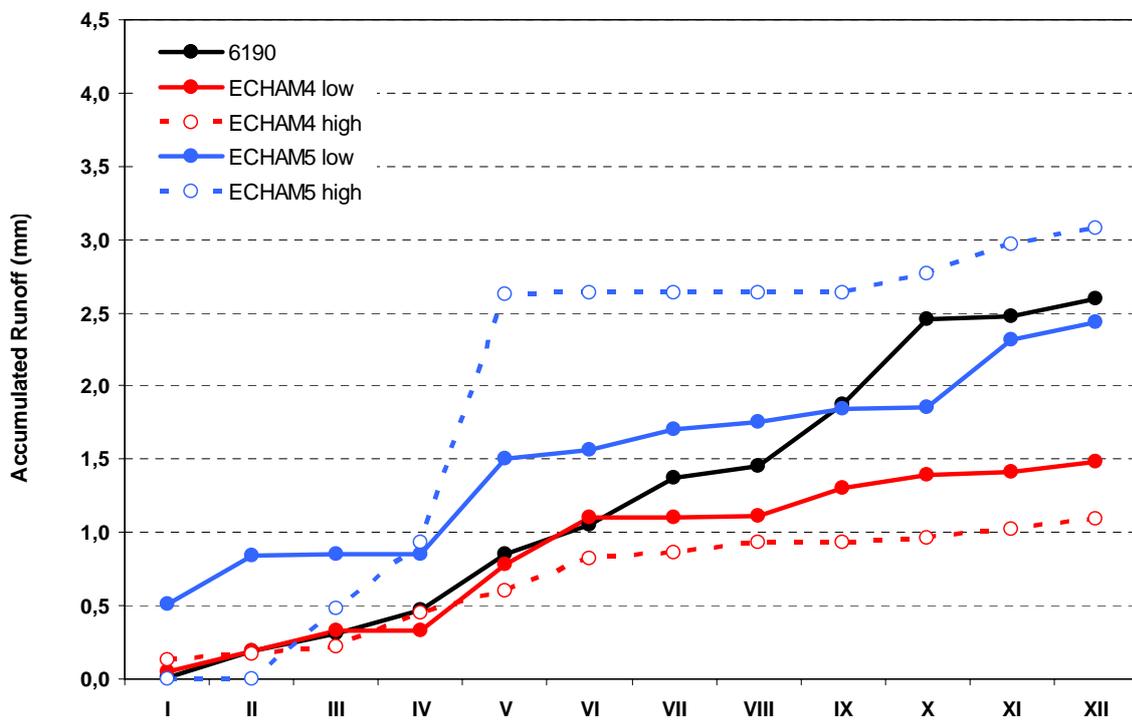


Abb. B-12: Zeitlicher Verlauf des Oberflächenabflusses bei Direktsaat (NT) für die untersuchten Klimaszenarien

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

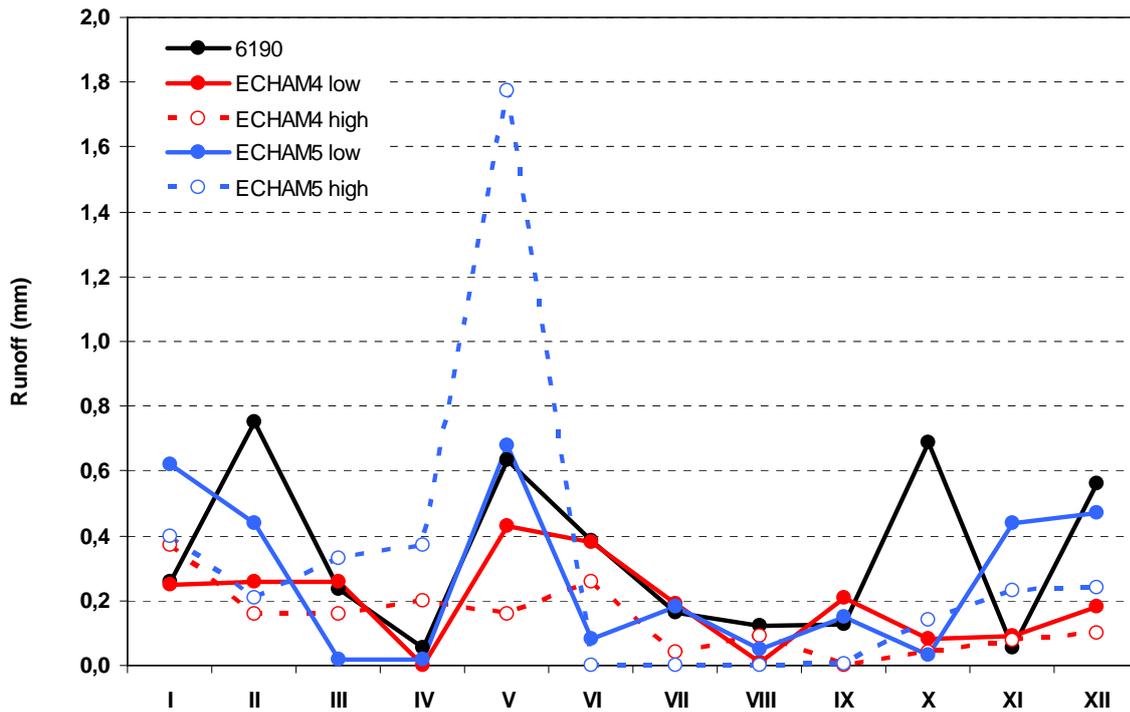


Abb. B-13: Mittlere monatliche Oberflächenabflusshöhen bei konventioneller Bodenbearbeitung (CT)

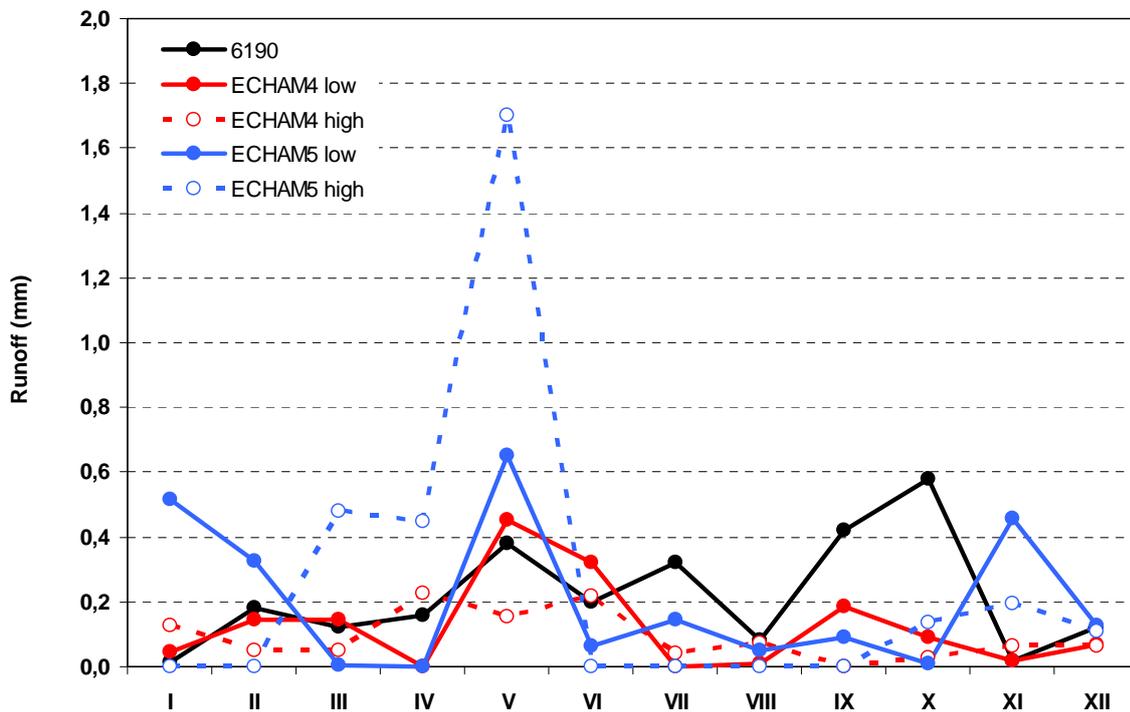


Abb. B-14: Mittlere monatliche Oberflächenabflusshöhen bei Direktsaat (NT)

In Tabelle B-9 sind die wesentlichen statistischen Kennwerte der Abflussberechnungen zusammengestellt. Die hohe Variabilität der Ergebnisse wird durch die hohen Standardabweichungen ausgedrückt. Nicht nur die Mittelwerte, sondern auch die maximalen Abflusshöhen während der 100-jährigen Simulationsdauer werden bei den meisten Szenarien durch Direktsaat und Gras deutlich verringert (vgl. Abb. B-13). Nur unter ECHAM4 high und ECHAM5 low ergeben sich für NT und/oder Gras höhere Maximalwerte.

Tab. B-9: Statistische Kennwerte der simulierten Oberflächenabflüsse für die untersuchten Szenarien

Kennwert	6190			ECHAM4 low			ECHAM4 high			ECHAM5 low			ECHAM5 high		
	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass
Mittelwert	4,0	2,5	0,0	2,3	1,5	0,6	1,6	1,0	0,4	3,2	2,5	2,1	3,7	3,1	1,5
s.d.	9,2	7,6	3,9	6,1	5,5	3,0	3,9	3,2	3,3	7,4	6,8	7,8	8,0	7,2	4,8
Median	1,0	0,3	0,0	0,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,8	0,3	0,0	0,4	0,2	0,0
Maximum	77,3	70,7	33,4	52,9	52,2	22,0	25,0	26,5	33,2	60,9	54,8	69,9	42,8	37,0	36,0

Aus Abbildung B-13 lässt sich ablesen, wie oft mit dem Auftreten verschiedener Abflusshöhen zu rechnen ist. Die meisten Abflussereignisse liefern nur sehr geringe Abflussmengen (< 0,1-0,5 mm; vgl. Tab. B-9). Diese Ereignisse sind für Erosionsprozesse nicht ausschlaggebend. Von besonderer Bedeutung sind Niederschläge mit hoher auch nur kurzzeitiger Intensität, die auch zu großen Abflüssen mit hoher kinetischer Energie führen. In 5% aller Jahre können bei CT jährliche Abflusshöhen zwischen 8,2 und 17,6 mm erreicht werden, bei NT zwischen 6,1 und 22,7 mm und bei Grünland zwischen 1,1 und 9,8 mm.

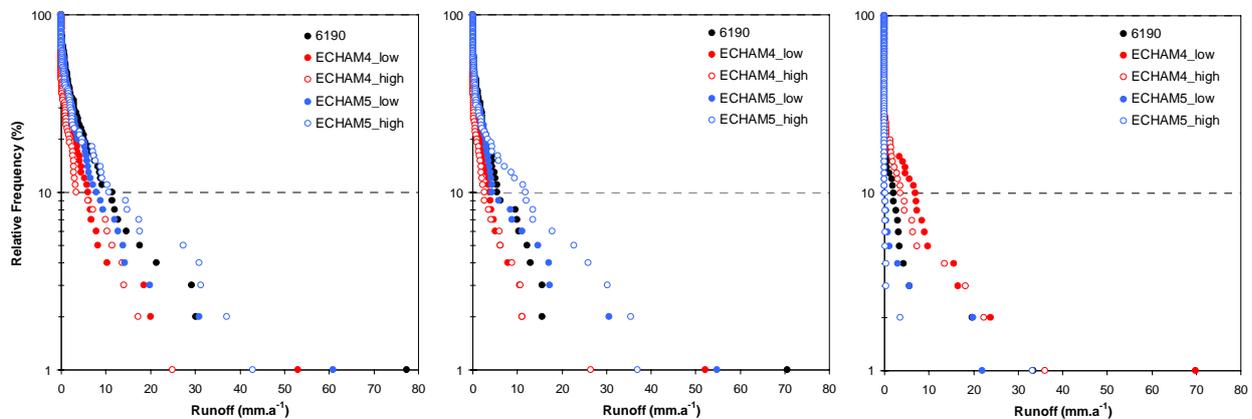


Abb. B-15: Relative Häufigkeit Oberflächenabflüsse bei konventioneller Bodenbearbeitung (links), Direktsaat (Mitte) und Grünlandnutzung (rechts) für die untersuchten Klimaszenarien

Durch Bodenschutzmaßnahmen ist eine starke Verschiebung von hohen zu niedrigen Abflusshöhen gegeben (Tab. B-10). Unter derzeitigen Klimabedingungen sind in 52% der Fälle die Abflüsse geringer als 1 mm pro Jahr. Durch Direktsaat wird dieser Wert auf 62% und durch Umwandlung in Grünland auf 87% angehoben. Bei ECHAM4 beträgt der Anstieg der Klasse < 1 mm gegenüber CT bei NT zwischen 4 und 19% und bei Gras zwischen 31 und 48%. Bei ECHAM5 erreichen die entsprechenden Anstiege bei NT 19-26% und bei Gras 20-21%.

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

Tab. B-10: Häufigkeit (in %) unterschiedlicher Abflussklassen (in mm)

Abfluss mm/a	6190			ECHAM4 low			ECHAM4 high			ECHAM5 low			ECHAM5 high		
	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass
< 0,1	24	42	77	33	43	91	21	46	92	28	49	75	38	66	74
0,1 - 1,0	28	20	10	31	25	4	30	24	6	29	27	8	23	16	6
1 - 5	28	26	10	24	23	2	30	14	1	24	18	5	21	12	13
5 - 10	10	6	1	8	3	1	8	5	0	12	3	8	7	3	3
10 - 15	5	3	0	1	2	0	5	5	0	4	2	0	4	2	1
15 - 20	1	2	1	1	2	1	3	1	0	1	0	2	2	0	1
20 - 30	2	0	0	1	0	1	1	2	0	0	0	1	1	1	1
30 - 50	1	0	1	0	1	0	1	3	1	1	0	0	4	0	1
> 50	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0

B-4.2 Bodenabtrag im Einzugsgebiet und Sedimentaustrag aus dem Gebiet

Die berechneten mittleren Bodenerosionsraten liegen für den Zeitraum 1961-1990 bei konventioneller Bewirtschaftung bei 2,57 Tonnen pro Hektar und Jahr (Abb. B-14). Damit liegt der Wert geringfügig über dem von der OECD (2001) vorgeschlagenen tolerierbaren Bodenabtrag von $2,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$, welcher als mittlere jährliche Bodenbildungsrate angesehen wird. Dies entspricht einem mittleren Bodenverlust von 0,1-0,2 mm Boden pro Jahr. Der Mittelwert von $2,57 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ bedeutet, dass es im gesamten Einzugsgebiet von 114 ha auch Flächen gibt, wo dieser Wert deutlich überschritten wird. Die beiden Klima- und Emissionsszenarien ECHAM4 und ECHAM5 liefern z.T. höhere und teilweise niedrigere Bodenabträge. Im Mittel führt das Szenario ECHAM4 zu ähnlich hohe Bodenerosion und ECHAM5 zu geringfügig höherem Bodenabtrag.

Die Wirksamkeit des Direktsaatverfahrens ist sowohl unter den derzeitigen Bedingungen als auch unter zukünftigen Szenarien sehr hoch (Abb. B-14 und B-15, Tab. B-11). Die Simulationen ergaben im Vergleich zu CT im Mittel Verringerungen der Bodenerosion zwischen 65% (ECHAM5 high) und 93% (ECHAM4 low). Die entsprechenden Erosionsraten erreichen Werte zwischen $0,16$ und $1,42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ (Abb. B-14). Damit liegen sie deutlich unter dem tolerierbaren Bodenabtrag. Durch Umwandlung in Grünland findet im betrachteten Gebiet keine Erosion mehr statt.

40 bis 53% des erodierten Bodenmaterials werden im Einzugsgebiet wieder deponiert, 47-60% werden aber aus dem Gebiet ausgetragen. Bei Direktsaat beträgt das Sediment Delivery Ratio 37-70% und bei Grünlandnutzung 82-92%. Der prozentuelle Sedimentaustrag bzw. das SDR steigt zwar bei den Schutzmaßnahmen an, aufgrund der insgesamt sehr niedrigen Erosionsraten bei NT und Grünland sind die absoluten Austräge ebenfalls sehr niedrig.

Unter den derzeitigen Bedingungen kann durch Direktsaat der Sedimentaustrag von $1,51$ auf $0,35 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ reduziert werden (Abb. B-15), das entspricht einer Abnahme um 85%.. Auch unter zukünftigen Klimaannahmen zeigt diese Maßnahme sehr hohe Effizienz. Unter ECHAM4 werden Erosionsverminderungen um 85-90% erreicht, unter ECHAM5 um 78-84%. Insgesamt liegen die Austräge bei NT zwischen $0,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ (ECHAM4 high) und $0,52 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ (ECHAM5 high).

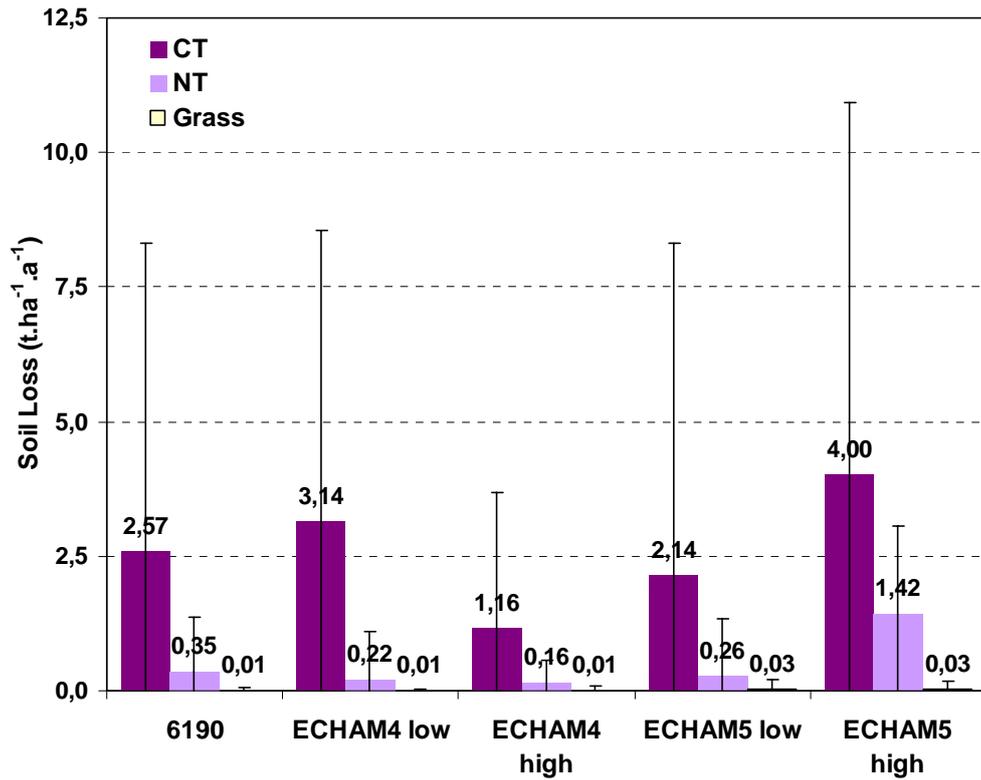


Abb. B-16: Mittelwerte und Standardabweichungen der mittleren, jährlichen Bodenerosion für die untersuchten Klimaszenarien und Bodenschutzmaßnahmen

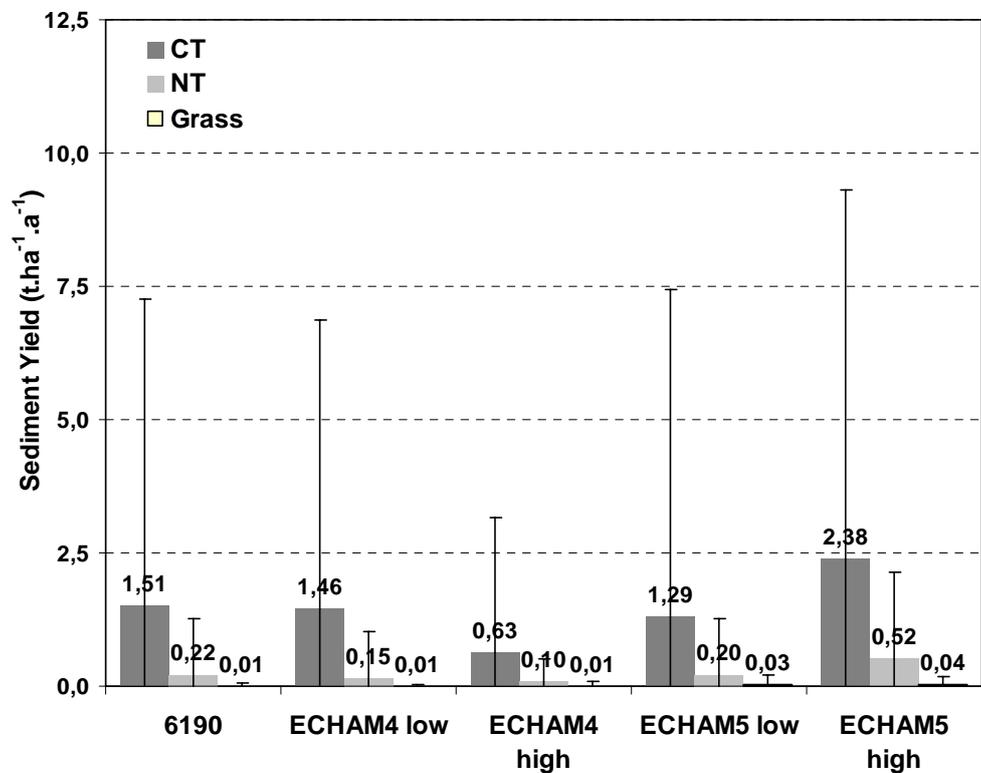


Abb. B-17: Mittelwerte und Standardabweichungen des mittleren, jährlichen Sedimentaustrages für die untersuchten Klimaszenarien und Bodenschutzmaßnahmen

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

Aus dem zeitlichen Verlauf des Sedimentaustrages aus dem Gebiet (Abb. B-16 bis B-19) ist erkennbar, dass der Großteil des Sedimentaustrages und damit auch der Bodenerosion im Frühjahr stattfindet. Vergleicht man konventionelle und reduzierte Bodenbewirtschaftung so werden derzeit von März bis Mai 39 bzw. 25% der Sedimentmenge produziert. Unter zukünftigen Annahmen betragen die entsprechenden Sedimentanteile für die Frühjahrsmonate bei ECHAM4 35-54% (CT) und 50-55% (NT) und bei ECHAM5 55-89% (CT) bzw. 48-83% (NT). Unter zukünftigen Klimaannahmen kommt es auch bis zu einem Monat früher als bisher zu Erosionsprozessen wobei die maximale Gefährdung weiterhin im Mai bestehen bleibt. Wie bereits früher gesagt, ist in diesem Zeitraum bei konventionellem Bodenmanagementsystem zumeist keine Bodenbedeckung vorhanden und nach dem Anbau ein sehr feines Saatbett vorhanden, welches nur geringen Widerstand gegen die erosiven Kräfte des Niederschlages und des Oberflächenabflusses bietet. Die beiden Bodenschutzmaßnahmen führen zu einer weitgehenden Verminderung von Bodenerosion und ermöglichen somit eine nachhaltige Landnutzung. Gute Bodenbedeckung – möglichst während des gesamten Jahres – sowohl durch ein dichtes Blätterdach, aber auch durch organische Substanz und Pflanzenreste sowie eine raue Bodenoberfläche („so fein wie notwendig, so rau wie möglich“) sind geeignete agronomische Maßnahmen zur Verringerung des Bodenabtrages und des Sedimenttransportes.

Bodenerosion stellt einen Prozess dar, welcher vor allem durch extreme Niederschlagsereignisse hervorgerufen wird. Die Angabe eines langjährigen Mittelwertes kann zwar zur Abschätzung der Erosionsgefährdung herangezogen werden, es sind jedoch die extremen Erosionsereignisse, welche sowohl zu on-site Schäden, dh. solche direkt auf der betroffenen Fläche, als auch zu off-site Schäden durch Deposition des erodierten Bodenmaterials auf benachbarten Flächen und Grundstücken führen. Die berechneten maximalen Sedimentausträge betragen unter CT für die derzeitige Situation $49 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ und unter zukünftigen Annahmen zwischen $20,8$ und $59,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ (Tab. B-11). Das entspricht Netto-Bodenverlusten im Gebiet von $3,2 \text{ mm}$ derzeit und $1,5$ bis 4 mm pro Jahr zukünftig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Bodenver- und -umlagerung im Einzugsgebiet selbst diese Werte noch weit übersteigt. Durch Direktsaatverfahren können diese Maximalwerte auf $3,6$ bis $12,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ reduziert werden. Das bedeutet Verringerungen der Sedimentfrachten um 80% derzeit und um $67-88\%$ unter zukünftigen Verhältnissen. Bei Grünlandnutzung ergeben die Simulationen gleichbleibenden Sedimentaustrag bzw. einen geringen Anstieg um rd. $1,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$.

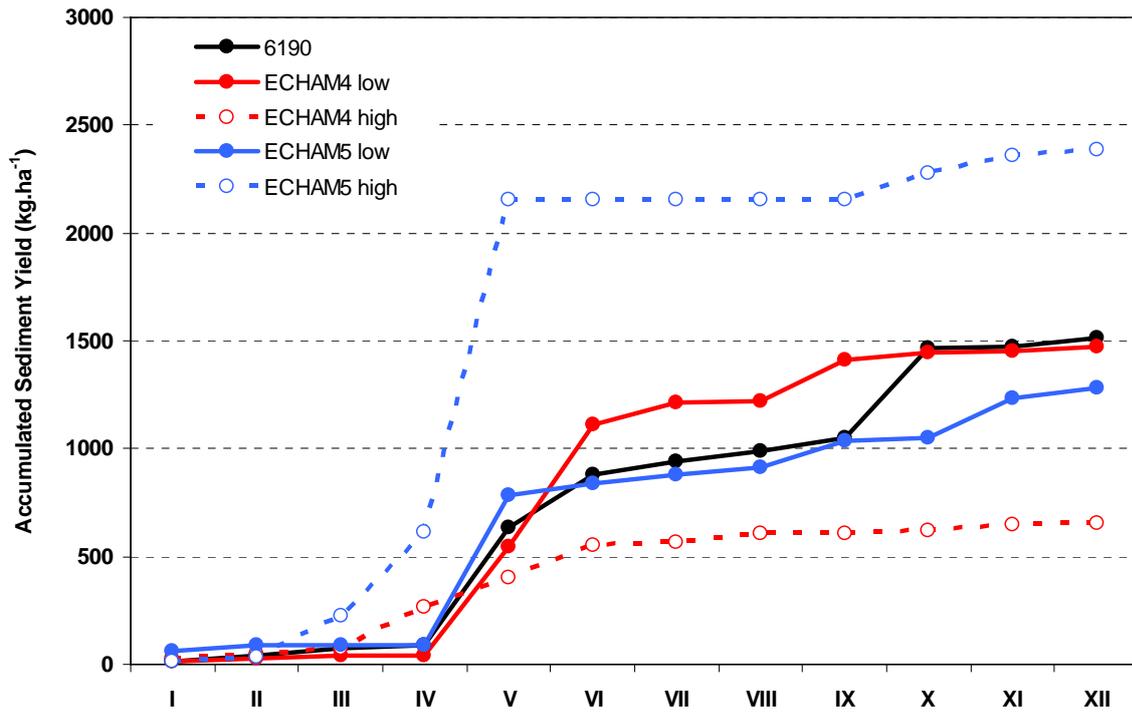


Abb. B-18: Zeitlicher Verlauf des akkumulierten Sedimentaustrages bei konventioneller Bodenbearbeitung (CT) für die untersuchten Klimaszenarien

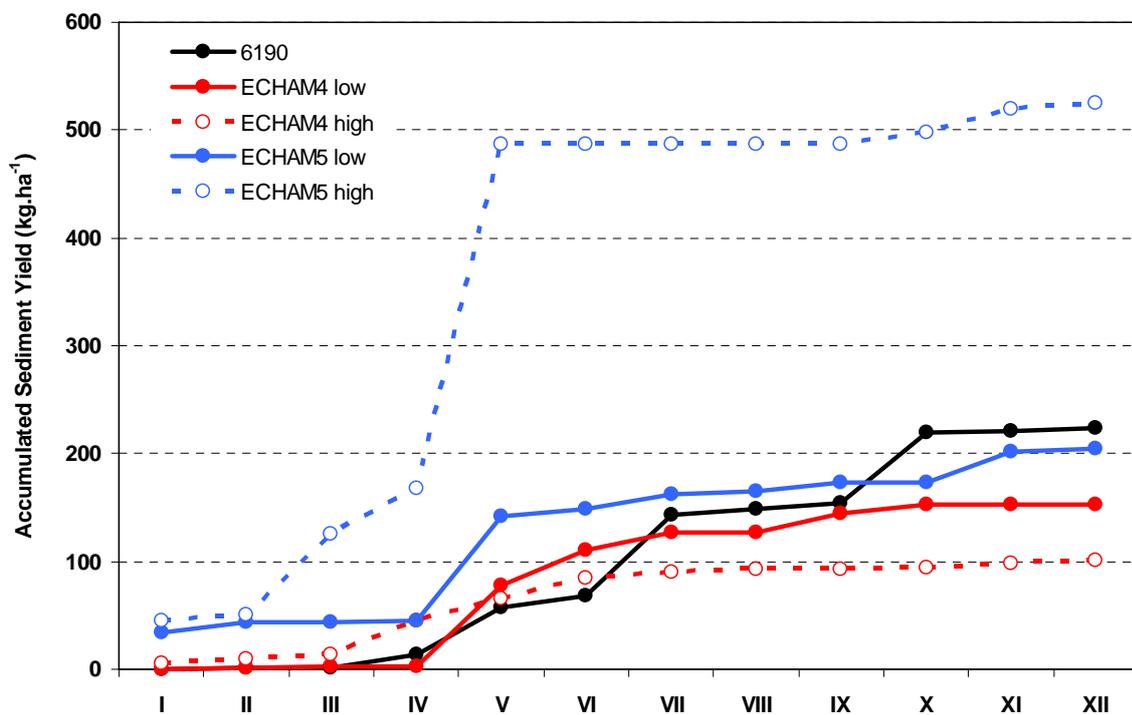


Abb. B-19: Zeitlicher Verlauf des akkumulierten Sedimentaustrages bei Direktsaat (NT) für die untersuchten Klimaszenarien

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

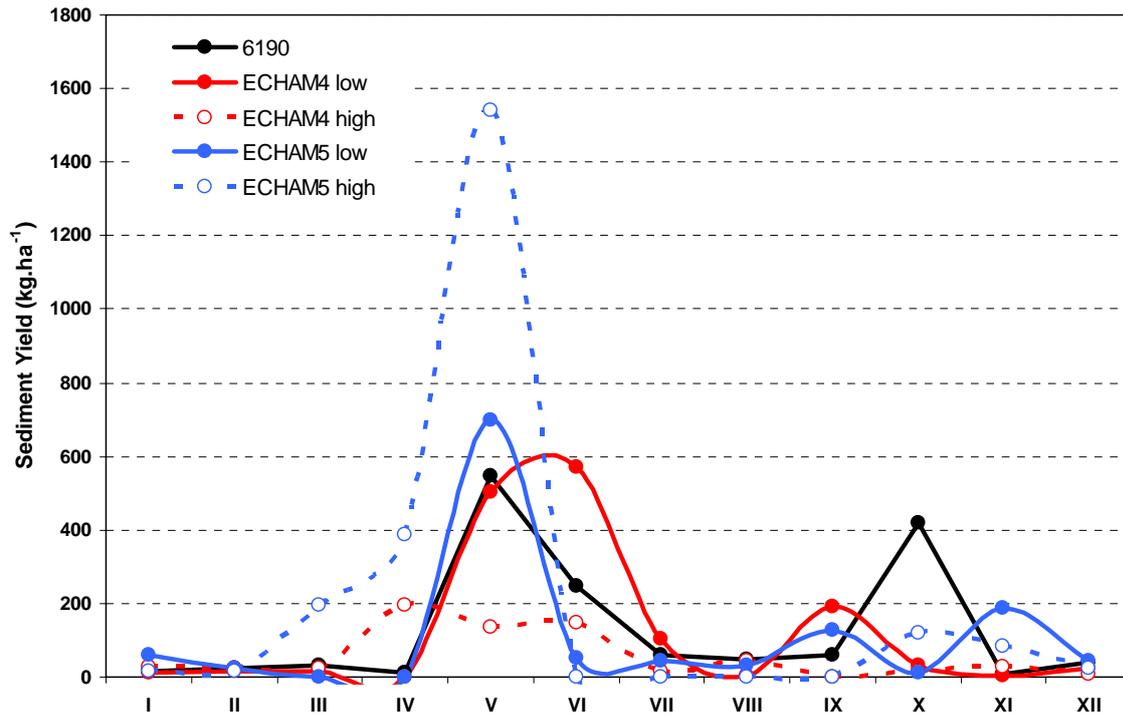


Abb. B-20: Zeitlicher Verlauf des Sedimentaustrages bei Direktsaat (NT) für die untersuchten Klimaszenarien

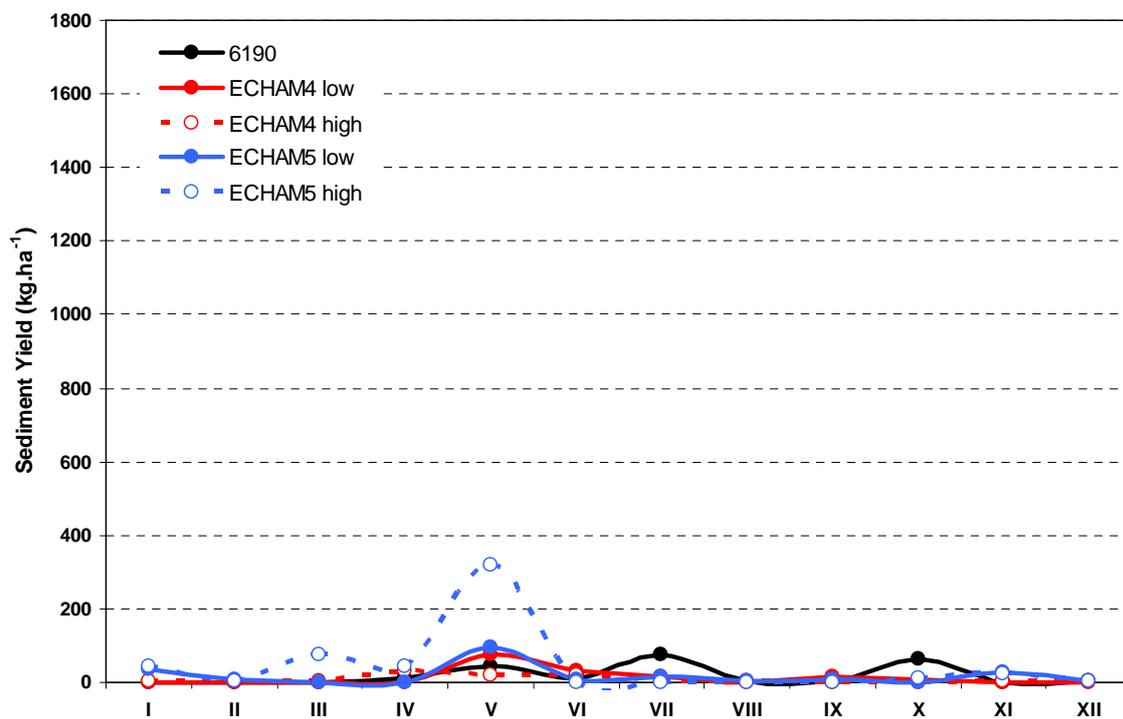


Abb. B-21: Zeitlicher Verlauf des Sedimentaustrages bei Direktsaat (NT) für die untersuchten Klimaszenarien

Tab. B-11: Statistische Kennwerte der simulierten Sedimentausträge für die untersuchten Szenarien

Kennwert	6190			ECHAM4 low			ECHAM4 high			ECHAM5 low			ECHAM5 high		
	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass
Mittelwert	1,51	0,22	0,01	1,46	0,15	0,01	0,63	0,10	0,01	1,29	0,20	0,03	2,38	0,52	0,03
s.d.	5,74	1,03	0,05	5,42	0,86	0,04	2,51	0,41	0,07	6,16	1,07	0,19	6,94	1,63	0,14
Median	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Maximum	49,0	9,8	0,5	46,0	8,5	0,3	20,8	3,6	0,7	59,9	10,4	1,8	38,8	12,8	1,2

In Abbildung B-20 ist die relative Häufigkeit des Auftretens unterschiedlicher Sedimentaustragsraten dargestellt. Die positive Wirkung von reduzierter Bodenbearbeitungsintensität und von Grünlandnutzung gegenüber konventioneller Bewirtschaftung ist sehr deutlich erkennbar. Der Großteil der jährlichen Sedimentaustragsraten liegt unter $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$. In 10% der Jahre ergeben sich heute bei CT und NT Austräge von 2,9 und $0,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$. Unter zukünftigen Klimaszenarien werden bei herkömmlicher Bodenbewirtschaftung Werte zwischen 1,2 und $9,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ und bei Direktsaat solche zwischen 0,1 und $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ erwartet. Bei Grünlandnutzung sind weder derzeit noch zukünftig off-site Schäden durch Sedimentaustrag wahrscheinlich.

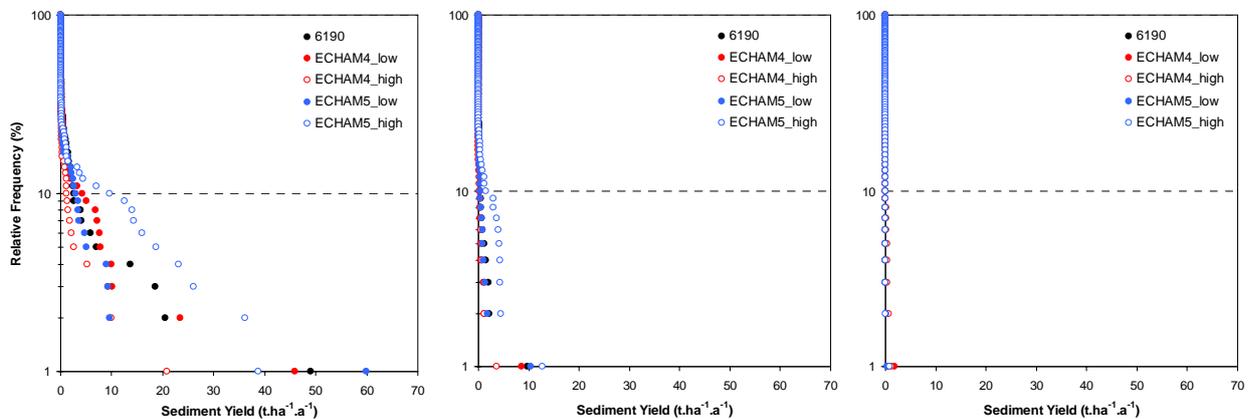


Abb. B-22: Relative Häufigkeit jährlicher Sedimentausträge bei konventioneller Bodenbearbeitung (links), Direktsaat (Mitte) und Grünlandnutzung (rechts) für die untersuchten Klimaszenarien

Insgesamt wird für die beiden zukünftigen Klimaszenarien sowohl eine Zunahme von Jahren ohne Sedimentausträge ($<0,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$) als auch eine Zunahme von Jahren mit Sedimentausträgen, die das tolerierbare von $2,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ übersteigen, simuliert (vgl. Tab. B-12). Dies ist ein Ergebnis der zunehmenden Variabilität der Niederschläge. Die untersuchten Bodenschutzmaßnahmen sind aber in der Lage, die Häufigkeit von hohen Austrägen ($>10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$) von maximal 9% (ECHAM5 high) auf maximal 1% (ECHAM5 high) zu reduzieren. Damit werden sowohl on-site Schäden im Einzugsgebiet, als auch die off-site Schäden durch die ausgetragenen Sedimente sehr stark vermindert.

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

Tab. B-12: Häufigkeit (in %) unterschiedlicher Sedimentaustragsklassen (in $t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$)

SA t.ha-1.a-1	6190			ECHAM4 low			ECHAM4 high			ECHAM5 low			ECHAM5 high		
	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass	CT	NT	Grass
< 0,1	59	77	98	66	84	98	75	89	99	66	82	97	69	79	94
0,1 -0,5	17	16	2	13	11	2	10	6	0	16	11	2	9	6	4
0,5 -1,0	5	2	0	7	2	0	2	2	1	2	3	0	4	3	1
1,0 -2,5	9	4	0	3	2	0	8	2	0	5	3	1	4	3	1
2,5 -5,0	4	0	0	2	0	0	1	1	0	6	0	0	3	8	0
5 - 10	2	1	0	6	1	0	3	0	0	4	0	0	2	0	0
10 -20	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	5	1	0
20 - 50	2	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0
> 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

B-5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Unter den angenommenen zukünftigen Klimaszenarien ist mit einer Verminderung des Niederschlages um 7 bis 18% zu rechnen. Dies führt bei konventioneller Bodenbearbeitung und –bewirtschaftung unter gemäßigtem Emissionsszenario zu einer Reduktion des Oberflächenabflusses von 42,5-60% Trotz deutlich geringerer Jahresniederschläge unter dem IPCC Szenario A2 beträgt die Verminderung nur zwischen 7,5 und 20%, was auf eine Zunahme von Starkniederschlägen mit hohen Intensitäten zurückzuführen ist.

Unter derzeitigen Klimabedingungen kommt es unter Direktsaat und Grünlandnutzung zu Abflussverminderungen zwischen 38 und 75%. Bei zukünftigen Klimabedingungen ist anzunehmen, dass die Wirkung der beiden Bodenschutzmaßnahmen ähnlich hoch bleibt (A1B) oder auf 16-53% reduziert wird (A2). Dies bedeutet, dass zwar unter zukünftigen Klimaverhältnissen bei geringeren Niederschlägen geringfügig weniger Oberflächenabfluss auftritt, insgesamt aber der Wasserrückhalt in der Landschaft abnimmt und daher weniger Bodenwasser für die Pflanzenproduktion verfügbar sein wird.

Die Berechnungen des mittleren Bodenabtrages im Einzugsgebiet ergeben derzeit Werte zwischen 2,52 (CT) und 0,01 t.ha⁻¹.a⁻¹ (Grass). Damit wird der tolerierbare Bodenabtrag von 2,5 t.ha⁻¹.a⁻¹ erreicht, welcher einer jährlichen Bodenbildungsrate von rd. 0,2 mm entspricht. Der Großteil der Erosion entsteht nur innerhalb eines kurzen Zeitraumes im Frühjahr, zwischen Saatbettbereitung und Beginn des vegetativen Wachstums, in dem die Niederschläge mit den höchsten Intensitäten auftreten. Je nach Klimaszenario zeigen sich bei konventioneller Bewirtschaftung Veränderungen in den mittleren Erosionsraten zwischen -55 und +22% (A1B) bzw. zwischen -17 und +56% (A2). Unter extremen Klimabedingungen ist auch mit einem Überschreiten des tolerierbaren Maßes zu rechnen.

Bei Verwendung von Direktsaat im gesamten Gebiet zeigen die Berechnungen zukünftige mittlere Bodenabträge zwischen 0,16 und 1,42 t.ha⁻¹.a⁻¹, welche ähnlich hoch bzw. höher sind als unter derzeitigen Bedingungen. Unter Grünlandnutzung kommt es nur zu marginalen Erosionen (>0,03 t.ha⁻¹.a⁻¹). Diese mittleren Erosionsraten bedeuten aber, dass je nach Feldgröße und Hangneigung auf einzelnen Flächen im Einzugsgebiet auch wesentlich höhere Bodenabträge auftreten werden. Trotzdem ist etwa ein Mal in neun Jahren mit Bodenerosion zu rechnen, die die Toleranzgrenze deutlich überschreitet.

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die verwendete Methodik einen geeigneten Ansatz zur Überprüfung der Wirksamkeit von Bodenschutzmaßnahmen unter veränderten Klimabedingungen darstellt. Einschränkungen sind aber dadurch gegeben, dass mögliche zukünftige Veränderungen in der Fruchtfolge und in der Produktivität neuer Sorten nicht berücksichtigt wurden. Weiters kommt beim Erosionsprozess der Niederschlagsintensität eine überproportional größere Bedeutung zu als der Niederschlagsmenge. Änderungen in Häufigkeit und Intensität der Regenereignisse wurden auf Basis der verfügbaren Klimaszenarien zwar simuliert, sind aber mit Unsicherheiten behaftet und können womöglich deutlich stärker ausfallen.

Die untersuchten Bodenschutzmaßnahmen stellen auch unter den angenommenen zukünftigen Klimaszenarien nachhaltige Bodenbewirtschaftungssysteme dar, da sie langfristig das tolerierbare Maß nicht überschreiten. Trotzdem wird auf steilen Flächen im Einzugsgebiet die Umstellung von CT auf NT alleine möglicherweise nicht ausreichen.

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

Folgende Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen werden vorgeschlagen:

- Für Flächen mit Hangneigungen >10% sollen erosionsbegünstigende Kulturen wie Mais, Kartoffel und Zuckerrübe in der Fruchtfolge durch Kulturpflanzen ersetzt werden, die den Boden das ganze Jahr hindurch bedecken.
- Zur erosionsfreien Ableitung des auftretenden Oberflächenabflusses sollen rd. 5 m breite begraste Abflussmulden angelegt werden.

„Nur ein gesunder Boden produziert gesunde Früchte und sauberes Grundwasser“. Boden-erosion durch Wasser beeinträchtigt langfristig nicht nur die Produktivität unserer Böden, sondern vermindert auch ihre Speicherfähigkeit und Filterfunktion. Da Boden nicht vermehrbar ist und er auch für nachfolgende Generationen die Hauptgrundlage zur Nahrungsmittelproduktion darstellt, muss daher die Erhaltung und Verbesserung der Fruchtbarkeit unserer Böden oberste Priorität einer nachhaltigen Boden- und Landnutzung sein. Verminderung des Bodenabtrages durch Wasser infolge geeigneter Schutzmaßnahmen stellt einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung dieses Ziels dar. Bodenschonende Bearbeitungsverfahren und Grünlandnutzung stellen auch unter den angenommenen zukünftigen Klimabedingungen mit geringfügigen Anpassungen nachhaltige Bodenbewirtschaftungssysteme dar.

Literaturverzeichnis

Brown, L.C. und G.R. Foster, 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. Transactions of the ASAE 30: 379-386.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), 2000. ÖPUL 2000. Sonderrichtlinie für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft. ZI. 25.014/37-II/B8/00.

European Environment Agency (EEA), 2000. Down to earth. Soil degradation and sustainable development in Europe – a challenge for the 21st century. Environmental Issue Report No. 16. Copenhagen, Denmark: pp.32.

Flanagan and Nearing, 1995 (eds.). USDA-Water Erosion Prediction Project. NSERL Report No. 11. U.S. National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.

Formayer, H., J. Eitzinger, H. Nefzger, S. Simic und H. Kromp-Kolb, 2001. Auswirkungen einer Klimaveränderung in Österreich: Was aus bisherigen Untersuchungen ableitbar ist. Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur Wien. 57 S.

Gieska, M., R. van der Ploeg, P. Schweigert und N. Pinter, 2003. Physikalische Bodendegradierung in der Hildesheimer Börde und das Bodenschutzgesetz. In: Berichte über Landwirtschaft, Münster.

Hofmann, J., 2005. Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf die Bodengesundheit. Dissertation. Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien.

Klik A., 2003. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Oberflächenabfluss, Bodenabtrag sowie Nährstoff- und Pestizidausträge. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, JG 55, Heft 5/6, 89-96.

Klik, A., 2006. Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungsmodells zur nachhaltigen Bewirtschaftung von landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten unter besonderer Berücksichtigung des Stoffhaushaltes. In: Universität für Bodenkultur Wien (Hrsg.). bokuINSIDE II – Nachhaltige Ergebnisse der Responsible University. Präsentationen der BOKU-Forschungsstimulierung II: 55-68.

Klik, A. und O.W. Baumer, 1994. Studie zur strategischen Erfassung und Verminderung der Bodenerosion durch Wasser. Endbericht, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. 110 S.

KLIK, A., and A.S. ZARTL, 2001. Comparison of Soil Erosion Simulations Using WEPP and RUSLE with Field Measurements. Proc. of the International Symposium „Soil Erosion Research for the 21st Century“. Honolulu, Hawaii, January 2-5, 2001. American Society of Agricultural Engineers (ASAE): St. Joseph, MI: 350-353.

Klik, A., B. Hebel und J. Rosner, 2000. Erosionsschutz in der Landwirtschaft - Erfolgreiche Maßnahmen gegen Bodenerosion auf ackerbaulich genutzten Flächen. LAKO und Land-Impulse. 48 S.

Klik, A., W. Jester und Ch. Rauter, 2005. Sediment transport in a small agricultural watershed – evaluation of WEPP simulations with measured data. In: Horowitz, A.J. and D.E. Walling (eds.). Sediment Budgets 2. Vol. 2 of the proceedings of the International Symposium on Sediment Budgets, VII th Scientific Assembly of the IAHS, Foz do Iguazu, Brazil, 3-9 April, 2005, IAHS Publication 292 (ISBN 1-901502-92-9): 127-135.

Nearing, M.A., V. Jetten, C. Baffaut, O. Cerdan, A. Couturier, M. Hernandez, Y. Le Bissonnais, M.H. Nichols, J.P. Nunes, C.S. Renschler, V. Souchere, and K. van Oost, 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. Catena 61: 131-154.

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

O'Neal, M.R., M.A. Nearing, R.C. Vining, J. Southworth and R.A. Pfeifer, 2005. Climate change impacts on soil erosion in the Midwest United States with changes in crop management. *Catena* 61: 165-184.

OECD, 2001. Environmental indicators for agriculture. Methods and results. Volume 3, Paris, France. ISBN 92-64-18614-X – No. 51293 2001: 409 S.

Pruski, F.F., and M.A. Nearing, 2002. Climate-induced changes in erosion during the 21st century for eight U.S. locations. *Water Resources Research*, 38(12), 1298, doi:10.1029/2001WR000493, 2002.

Renschler, C.S., 2003. Designing geo-spatial interfaces to scale process models: the GeoWEPP approach. *Hydrological Processes* 17(5): 1005-1017.

Scholz, G., J.N. Quinton, und P. Strauss, 2008. Soil erosion from sugar beet in Central Europe in response to climate change induced seasonal precipitation variations. *Catena* 72: 91-105.

Semenov, V.A., and L. Bengtson, 2002. Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM. *Climate Dynamics* 19: 123-140.

Strauss, P. und E. Klaghofer, 2006. Austria. In: Boardman, J., and J. Poesen (eds.): *Soil Erosion in Europe*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester: 205-212.

Strauss, P., D. Swoboda und W.E.H. Blum, 2004. How effective is mulching and no-tillage to control runoff and soil loss? A literature review. In: Gabriels, D., and W. Cornelis (eds.). *25 Years of Assessment of Erosion. Proceedings of the International Symposium*. September 22-26, 2003, Ghent, Belgium: 545-550.

Uijlenhoet, R., and J.N.M. Stricker, 1999. Dependence of rainfall interception on drop-size – a comment. *J. Hydrol.* 218: 101-127.

Wischmeier, W.H. und D.D. Smith, 1978. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. U.S. Government Printing Office. Agriculture Handbook Nr. 537: 58 S.

Wurm, G., 2009. Abschätzung des langjährigen Bodenabtrages in einem kleinen landwirtschaftlich genutzten Einzugebiet mit Hilfe von GeoWEPP. Diplomarbeit, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien. 123 S.

Zanchi, C., and D. Torri, 1981. Evaluation of rainfall energy in central Italy. In: De Boodt, M., and D. Gabriels (eds.). *Assessment of Erosion*. John Wiley and Sons: 133-142.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. B-1: Wesentliche Wirkungspfade ausgewählter Klimafaktoren auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag (modifiziert nach: Pruski and Nearing, 2002)	6
Abb. B-2: Übersicht über Schutzmaßnahmen gegen Bodenerosion (aus Klik et al., 2000)	9
Abb. B-3: Lage Projektgebiet (Ausschnitt aus der Österreichkarte ÖK50) Koordinatensystem: Gauss-Krüger, Österreich; Geodätisches Datum: Österreichisches Datum (MGI)	12
Abb. B-4: Bodenkarte für das untersuchte Einzugsgebiet.....	13
Abb. B-5: Räumliche Verteilung der Feldstücke und der entsprechenden Fruchtfolgen.....	15
Abb. B-6: Differenzen im Monatsniederschlag zwischen den Szenarien ECHAM4 und ECHAM5 bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961-1990.....	19
Abb. B-7: Monatliche maximale Tagesniederschlagshöhen	20
Abb. B-8: Monatliche maximale 30-min Niederschlagsintensitäten	20
Abb. B-9: Anzahl der Niederschlags- und Abflussereignisse pro Jahr für die untersuchten Klimaszenarien und Bodenschutzmaßnahmen.....	22
Abb. B-10: Mittelwerte und Standardabweichungen des jährlichen Oberflächenabflusses für die untersuchten Klimaszenarien und Bodenschutzmaßnahmen	23
Abb. B-11: Zeitlicher Verlauf des Oberflächenabflusses bei konventioneller Bodenbearbeitung (CT) für die untersuchten Klimaszenarien	24
Abb. B-12: Zeitlicher Verlauf des Oberflächenabflusses bei Direktsaat (NT) für die untersuchten Klimaszenarien.....	24
Abb. B-13: Mittlere monatliche Oberflächenabflusshöhen bei konventioneller Bodenbearbeitung (CT).....	25
Abb. B-14: Mittlere monatliche Oberflächenabflusshöhen bei Direktsaat (NT)	25
Abb. B-15: Relative Häufigkeit Oberflächenabflüsse bei konventioneller Bodenbearbeitung (links), Direktsaat (Mitte) und Grünlandnutzung (rechts) für die untersuchten Klimaszenarien.....	26
Abb. B-16: Mittelwerte und Standardabweichungen der mittleren, jährlichen Bodenerosion für die untersuchten Klimaszenarien und Bodenschutzmaßnahmen.....	28
Abb. B-17: Mittelwerte und Standardabweichungen des mittleren, jährlichen Sedimentaustrages für die untersuchten Klimaszenarien und Bodenschutzmaßnahmen	28
Abb. B-18: Zeitlicher Verlauf des akkumulierten Sedimentaustrages bei konventioneller Bodenbearbeitung (CT) für die untersuchten Klimaszenarien	30
Abb. B-19: Zeitlicher Verlauf des akkumulierten Sedimentaustrages bei Direktsaat (NT) für die untersuchten Klimaszenarien	30
Abb. B-20: Zeitlicher Verlauf des Sedimentaustrages bei Direktsaat (NT) für die untersuchten Klimaszenarien.....	31
Abb. B-21: Zeitlicher Verlauf des Sedimentaustrages bei Direktsaat (NT) für die untersuchten Klimaszenarien.....	31

Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?

Abb. B-22: Relative Häufigkeit jährlicher Sedimentausträge bei konventioneller Bodenbearbeitung (links), Direktsaat (Mitte) und Grünlandnutzung (rechts) für die untersuchten Klimaszenarien.....32

Tabellen

Tab. B-1: Bewertung von Erosionsschutzmaßnahmen (modifiziert nach: Klik und Baumer, 1994)9

Tab. B-2: Übersicht über Bodenbearbeitungssysteme (aus: Klik et al., 2000) 10

Tab. B-3: Begrünungsvarianten nach ÖPUL 2000 (BMLFUW, 2000) 10

Tab. B-4: Textur und Zusammensetzung der in Mistelbach vorkommenden Bodenformen (ÖBK, 1995) 13

Tab. B-5: Angebaute Kulturen der 33 Betriebe im Einzugsgebiet im Jahr 2002 14

Tab. B-6: Fruchtfolgen der einzelnen Feldstücke 15

Tab. B-7: Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte der simulierten Jahresniederschläge für die unterschiedlichen Klimaszenarien..... 17

Tab. B-8: Klimaeingabedaten für das Erosionsmodell (Monatsmittelwerte) 18

Tab. B-9: Statistische Kennwerte der simulierten Oberflächenabflüsse für die untersuchten Szenarien26

Tab. B-10: Häufigkeit (in %) unterschiedlicher Abflussklassen (in mm)27

Tab. B-11: Statistische Kennwerte der simulierten Sedimentausträge für die untersuchten Szenarien 32

Tab. B-12: Häufigkeit (in %) unterschiedlicher Sedimentaustragsklassen (in t.ha⁻¹.a⁻¹)33