



Bau- und Umweltschutzdirektion  
Kanton Basel-Landschaft

**Amt für Umweltschutz und Energie**

# Erosionsmonitoring im Kanton Basel-Landschaft 1982-2012

Entwicklung der Erosionsgefährdung  
Schutz der Böden durch die Bewirtschaftung  
Folgerungen für die Praxis



**Herausgeber**

Amt für Umweltschutz und Energie (AUE)  
Rheinstrasse 29  
4410 Liestal

**Autor**

Prof. Dr. Thomas Mosimann  
Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie der Leibniz Universität Hannover und Terragon Ecoexperts AG  
Vorstadt 6  
4426 Lauwil

unter Mitarbeit von Johannes Mosimann, Barbara Mosimann-Baumgartner, Philipp Saggau und Achim Holtmann

**Projektleitung AUE**

Dr. Roland Bono

**Projektbegleitung LZE**

Pascal Simon, Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain

**Layout**

Johannes Mosimann

**Internet**

Der Bericht ist als pdf-File abrufbar unter [www.bl.ch/boden](http://www.bl.ch/boden)

**Bezug**

Amt für Umweltschutz und Energie  
Rheinstrasse 29  
4410 Liestal  
[roland.bono@bl.ch](mailto:roland.bono@bl.ch)

**Titelbild**

Ackerbau im Baselbieter Tafeljura

Liestal 2013

# **Erosionsmonitoring im Kanton Basel-Landschaft 1982-2012**

Entwicklung der Erosionsgefährdung, Wandel des Schutzes der Böden  
durch die Bewirtschaftung und Folgerungen für die Praxis

Thomas Mosimann

Unter Mitarbeit von Johannes Mosimann, Barbara Mosimann-Baumgartner,  
Philipp Saggau und Achim Holtmann

Liestal 2013

## Vorwort

Eine unserer Aufgaben gemäss Umweltschutzgesetz ist es, die langfristige Entwicklung unserer Böden zu überwachen und daraus Massnahmen abzuleiten. Wir nehmen diese Aufgabe ernst, sind doch die Böden ein Umweltmedium, das oft nur verzögert auf negative Einflüsse reagiert. Dann kann es für Massnahmen zu spät sein.

Mit dem Erosionsmonitoring 1982-2012 können wir auf eine in West- und Mitteleuropa einzigartige Zeitreihe der Entwicklung der Erosionsgefährdung blicken. Wir durften dabei auf eine langjährige Kooperation mit rund 70 Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter im Kanton zählen. Sie gaben bereitwillig Auskunft und gewährten Einblick in ihre Betriebsführung. Unsererseits konnten wir durch die wiederum sehr kompetente externe Ausführung des Monitorings Vertraulichkeit und Datenschutz für die Beteiligten gewährleisten.

Die Böden langfristig gesund zu erhalten ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Wir konnten viel Positives feststellen, müssen aber auch auf deutliche Lücken hinweisen. Während im Oberbaselbiet und im Laufental die Erosionssituation in den letzten 10 Jahren stabil geblieben ist, stieg die Erosionsgefährdung der beobachteten Ackerflächen im Unterbaselbiet insgesamt deutlich an. Kunstwiesen sind weggefallen und erosionsgefährdete Kulturen wie Mais haben zugenommen. Die Gewichte der Landwirtschaftsmaschinen nehmen seit 1992 kontinuierlich zu. Dies kann vermehrt Bodenverdichtungen verursachen und so Erosion verstärken.

Wir haben aus den ermittelten Fakten eine Reihe von Massnahmen abgeleitet. Sie fokussieren auf Betriebe im Unterbaselbiet und im Laufental und reichen von der Beratung zu konservierender Bewirtschaftungstechnik und den Möglichkeiten zur Fruchtfolgetrennung über die Bekanntmachung der Karte zur Erosionsgefährdung bis zur besseren Schulung der ÖLN-Beauftragten.

Daran werden wir in den nächsten Jahren zusammen mit dem Landwirtschaftlichen Zentrum Ebenrain und den Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern arbeiten - zum langfristigen Wohl unserer Böden.

**Amt für Umweltschutz und Energie**

  
Dr. Alberto Isenburg, Amtsleiter

# Inhaltsverzeichnis

<b>Das Wichtigste in Kürze</b>	6
<b>1. Monitoring der Bewirtschaftung unter dem Aspekt der Bodenerosion - Ausgangspunkt und Ziele</b>	9
<b>2. Methodisches Vorgehen</b>	10
2.1 Methodische Konzeption dieser Langzeituntersuchung	10
2.2 Die Betriebsbefragung 2012	11
2.3 Informationen zur Stichprobe	12
2.4 Auswertungsmethoden	12
<b>3. Gefährdung und Schutz des Bodens durch die Bewirtschaftung: Die Entwicklung der einzelnen Merkmale, Indikatoren und Wirkungsbereiche</b>	13
3.1 Der Wirkungsbereich Fruchtfolgen und Winterbedeckung	13
3.1.1 Der C-Faktor als Indikator für die Fruchtfolgewirkung auf die Erosion	13
3.1.2 Allgemeines zu den C-Faktoren im Kanton Baselland	13
3.1.3 Die Fruchtfolgefaktoren in den untersuchten Betrieben	14
3.1.4 Orientieren sich die Fruchtfolgefaktoren besser an der natürlichen Erosionsdisposition?	17
3.1.5 Die Entwicklung der Winterbedeckung	18
3.2 Der Wirkungsbereich Bodenbearbeitung und mechanische Beanspruchung des Bodens	19
3.2.1 Bodenbearbeitungssysteme und konservierende Bodenbearbeitung	20
3.2.2 Mechanische Bodenbelastung: Entwicklung der Indikatoren	22
3.2.3 Stabilität der Krume	25
3.3 Der Wirkungsbereich Abflussregulierung	25
3.3.1 Bearbeitungsrichtung	25
3.3.2 Abflussregulierung	26
<b>4. Minderung der Bodenerosion durch die Bewirtschaftung: Gesamtbeurteilung der Betriebe</b>	28
4.1 Der Gesamtindex für die erosionsschützende Wirkung der Bewirtschaftung	28
4.2 Wie hat sich der Erosionsschutz gesamthaft entwickelt?	28
4.2.1 Die Veränderungen der Schutzmassnahmenindizes seit 1992	28
4.2.2 Orientiert sich die Bewirtschaftung mehr an der standörtlichen Erosionsgefährdung?	30
4.3 Unterscheidet sich der Erosionsschutz in kleineren und grösseren Betrieben?	30
<b>5. Die Entwicklung der Erosionsgefährdung von 1992 bis 2012</b>	31
5.1 Bemerkungen zur Berechnung der durchschnittlichen Abtragsmengen der Bezugsparzellen	31
5.2 Die regional unterschiedlichen Trends bei der Entwicklung der geschätzten Abtragsmengen (Erosionsgefährdung gemäss ABAG)	32
5.3 Die Ursachen veränderter Abtragsmengen	34
<b>6. Bekanntheit und Nutzung der Erosionsgefährdungskarte BL</b>	35
6.1 Allgemeines	35
6.2 Wie gut ist die Erosionsgefährdungskarte bekannt?	37
6.3 Wie weit wurde die Erosionsgefährdungskarte bisher schon angewendet?	38
<b>7. Empfehlungen für die Praxis</b>	39
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	41

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Flächenhafte Erosion (Oberwil)	8
Abb. 2	Flächenhaft-lineare Erosion (Gelterkinden)	8
Abb. 3	Das schrittweise Vorgehen bei der repräsentativen Auswahl der Bezugsparzellen und der zugehörigen Betriebe im Erosionsmonitoring	10
Abb. 4	Häufigkeitsverteilung der C-Faktoren in den acht Gemeindegruppen des Kantons Baselland mit ähnlichem Anteil der angebauten Kulturen	14
Abb. 5	Häufigkeitsverteilungen der Fruchtfolgefaktoren 1982-2012	16
Abb. 6	Veränderung der Fruchtfolgefaktoren 2002-2012	16
Abb. 7	Abhängigkeit der Fruchtfolgefaktoren von der Betriebsgrösse (ackerbauliche Nutzfläche 2011)	17
Abb. 8	Abhängigkeit der Fruchtfolgefaktoren auf den Bezugsparzellen vom Gefälle der Schläge	17
Abb. 9	Abhängigkeit der Fruchtfolgefaktoren auf den Bezugsparzellen von der natürlichen Erosionsdisposition	17
Abb. 10	Trends bei der Winterbedeckung: Häufigkeiten der Zu- und Abnahme der einzelnen Winterbedeckungsarten	20
Abb. 11	Veränderung der Verbreitung von Bodenbearbeitungssystemen unterschiedlicher Intensität: Anteile 1992-2012	21
Abb. 12	Anteil der in Mulch gesäten Kulturen bezogen auf alle Mulchsaaten und Aufteilung der Getreidearten bei Mulchsaaten von Getreide	22
Abb. 13	Entwicklung der Traktorengewichte und Achslasten der schwersten eingesetzten Geräte 1992-2012	23
Abb. 14	Indikatoren der Bodenbelastung und Bodenstabilisierung: Trend für das Erosionsrisiko	24
Abb. 15	Häufigkeit der Anwendung direkt und indirekt erosionsmindernder Massnahmen	27
Abb. 16	Mittelwerte und Standardabweichungen der Indizes für die erosionsschützende Wirkung der Bewirtschaftung 1992-2012	29
Abb. 17	Häufigkeitsverteilung der Veränderungen der Indizes für die erosionsschützende Wirkung der Bewirtschaftung seit 2002	29
Abb. 18	Abhängigkeit des Schutzmassnahmenindex von der natürlichen Erosionsdisposition	30
Abb. 19	Beispiele für Bezugsparzellen des Erosionsmonitorings	32
Abb. 20	Entwicklung der aktuellen Erosionsgefährdung im Kanton Basel-Landschaft 1992-2012: Medianwerte der Bezugsparzellen	34
Abb. 21	Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch die Bodenerosion: Häufigkeiten der Gefährdungsstufen auf den Bezugsparzellen 1992-2012	34
Abb. 22	Ursachen erhöhter Abtragsmengen	35
Abb. 23	Ursachen verminderter Abtragsmengen	35
Abb. 24	Erosionsgefährdungskarte des Kantons Basel-Landschaft: Ausschnitt Brislach und Wenslingen	36
Abb. 25	Bekanntheit und Anwendungsstufen der Erosionsgefährdungskarte: Anteile aller befragten Betriebsleiter	36
Abb. 26	Bekanntheit und Anwendungsstufen der Erosionsgefährdungskarte: Anteile nach Betriebstypen	37
Abb. 27	Bekanntheit und Anwendungsstufen der Erosionsgefährdungskarte: Anteile ÖLN- und Biobetriebe	37
Abb. 28	Bekanntheit und Anwendungsstufen der Erosionsgefährdungskarte: Anteile in Abhängigkeit von der Grösse der Betriebe	38
Abb. 29	Bekanntheit und Anwendungsstufe der Erosionsgefährdungskarte: Anteile in Abhängigkeit vom Alter des Betriebsleiters	38

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Übersicht zu Anzahl und Anteilen der von 1992-2012 erfassten Betriebe	11
Tab. 2	Mittelwerte und Standardabweichungen der Fruchtfolgefaktoren 1982-2012	15
Tab. 3	Kennzahlen zu den Indikatoren „Schwerster Traktor“ und „Schwerstes eingesetztes Gerät“ 1992-2012	24
Tab. 4	Vergleich des Erosionsschutzes in kleineren und grösseren Betrieben: Mittelwerte und Prozentsatz der Anwendung von erosionsschützenden Bewirtschaftungsmassnahmen	30
Tab. 5	Entwicklung der aktuellen Erosionsgefährdung auf den beobachteten Bezugsparzellen 1992-2012	33

## Das Wichtigste in Kürze

### Monitoring der Bodenerosion

Erosion ist eine unerwünschte Begleiterscheinung des Ackerbaus und ein schleichender Prozess. Neben natürlichen Faktoren wie Bodeneigenschaften, Gefälle, Oberflächenformen und Regenklima bestimmt die Art und Weise der Bewirtschaftung massgeblich das Ausmass der Erosion.

Bodenerosion kann die Böden langfristig zerstören und ist deshalb Teil der kantonalen Bodenüberwachung. Die vorliegende Studie analysiert Veränderungen in der Bewirtschaftung im Zeitraum von 1982 bis 2012 und schätzt deren Folgen für das Erosionsrisiko ab. Sie basiert auf einer Erhebung der Bewirtschaftung und der von ihr ausgehenden Erosionsgefährdung in 70 Betrieben im Kanton Basel-Landschaft (9 % aller Betriebe mit mehr als 10 ha Fläche). Zudem stehen 82 Bezugspartellen in der Beobachtung. Hier wird alle 10 Jahre die Geländesituation, die Bewirtschaftung und die aktuelle Erosionsgefährdung im Detail erfasst.

### Gefährdung und Schutz der Böden durch die Bewirtschaftung (Trends)

- Die Erosionsgefährdung durch die Kulturen ist im Unterbaselbiet mindestens doppelt so hoch als im Oberbaselbiet. Die Fruchtfolgefaktoren (C-Faktoren) stiegen in den letzten zehn Jahren in den beobachteten Betrieben im Unterbaselbiet um etwa 30 % an. Ursachen sind die geringeren Anteile an Kunstwiesen und die höheren Anteile an erosionsgefährdeten Kulturen. Im Oberbaselbiet haben sich die C-Faktoren dagegen in den letzten 30 Jahren insgesamt kaum verändert.
- Die Fruchtfolgefaktoren hängen vom Gefälle der Bezugspartellen und der Grösse der Betriebe ab. Es gilt: Je steiler die Fläche desto niedriger der C-Faktor. Betriebe mit mehr als 40 ha Ackerfläche haben im Mittel höhere C-Faktoren als die kleineren Betriebe.
- Wendende Bodenbearbeitung hat etwas zugenommen. Bei wendender und nicht wendender Bearbeitung werden aber erheblich mehr extensive Folgegeräte eingesetzt. Dies erhöht die Stabilität des Bodens gegenüber der erosiven Wirkung der Regentropfen und des abfliessenden Wassers.
- Fast 40 % der befragten Betriebe setzen heute Mulchsaaten ein. Die Zunahme der Mulchsaaten vermindert die Erosionsgefährdung. Allerdings finden nur 7 % aller Mulchsaaten in Mais statt, wo sie

besonders erosionsmindernd wirkt. Das Potenzial der Mulchsaaten zum Schutz des Bodens wird also bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

- Die mechanische Belastung des Bodens durch die Traktoren, Geräte und untergeordnet auch die Anzahl der Überfahrten steigt weiter. Die Traktorengewichte (plus 100 kg pro Jahr) und die Achslasten der schwersten Geräte (plus 150 kg pro Jahr) nehmen seit 1992 kontinuierlich zu. Nur ein Fünftel der Betriebe haben aber seit 2002 neue technische Massnahmen zur Minderung der Bodendrucke ergriffen. Das Risiko zusätzlicher Bodenverdichtungen und damit höherer Oberflächenabflüsse steigt an.
- Rund 80 % der beobachteten Schläge werden schon seit 1992 hangparallel oder schräg zum Gefälle bewirtschaftet. Durch kleinere Anpassungen hat sich die insgesamt günstige Situation bei der Querbearbeitung leicht verbessert. Die grösste Minderung von Oberflächenabfluss bringen die neuen Wiesenstreifen. Rund 30 % der Betriebe haben Wiesenstreifen als ökologische Ausgleichsflächen so angelegt, dass sie die Erosionsgefährdung des unten liegenden Schlages vermindern.
- 30 % der Betriebsleiter kennen die neue Erosionsgefährdungskarte. Die Hälfte davon hat ihre eigenen Flächen betrachtet und ein Viertel davon die Gefährdung einzelner Schläge bestimmt. Dies zeigt das Potenzial der Karte, wenn sie einmal bekannt ist.
- Fruchtfolgetrennung und Wiesenstreifen sind die am weitesten verbreiteten direkten Erosionsschutzmassnahmen. Insgesamt hat sich der Erosionsschutz jedoch wegen für den Bodenschutz ungünstiger Entwicklungen bei der Zusammensetzung der Fruchtfolgen oder fehlenden Änderungen der Bewirtschaftung nicht verbessert. Das Ausmass der erosionsmindernden Wirkung der Bewirtschaftung orientiert sich wie bisher nicht an der standörtlichen Erosionsgefährdung.

### Entwicklung der Erosionsgefährdung

- Im Oberbaselbiet ist die Erosionsgefährdung in den letzten 10 Jahren etwa gleich geblieben. Die Änderungen in der erosionsrelevanten Bewirtschaftung und in den Feldstrukturen waren insgesamt gering.
- Im Unterbaselbiet stieg die Erosionsgefährdung in den beobachteten Betrieben gemessen an den Mittelwerten um etwa 30 % an. Hauptursache ist der Wegfall von Kunstwiesen und der höhere Anteil erosionsgefährdeter Kulturen in den Fruchtfolgen. Die Erosionsgefährdung der Bezugspartellen im

Unterbaselbiet ist mittlerweile mehr als doppelt so hoch als im Oberbaselbiet.

- Im Laufener Becken blieb die Erosionsgefährdung etwa gleich hoch. Diese Konstanz ergibt sich aus den weitgehend gleich gebliebenen Fruchtfolgefaktoren und der unveränderten Schlagstruktur. Die markanten Unterschiede zum Unterbaselbiet resultieren aus den niedrigeren C-Faktoren wegen der höheren Kunstwiesenanteile in den Fruchtfolgen.
- Im Einzelfall sind die Hauptursachen erhöhter Abtragsmengen höhere Fruchtfolgefaktoren alleine oder höhere Fruchtfolgefaktoren kombiniert mit grösseren Hanglängen. Verminderte Abtragsmengen haben überwiegend mehrere Ursachen, wobei verkürzte Hanglängen der wichtigste Einzelfaktor sind.

### Empfehlungen für die Praxis

Im Oberbaselbiet gilt für die Erosionsgefährdung „Status quo“. Für das Unterbaselbiet zeigt das Monitoring dagegen einen bewirtschaftungsbedingten Anstieg der Erosion, und dies auf Böden mit ohnehin höherer Erosionsanfälligkeit. Die Anstrengungen für eine Verbesserung des Erosionsschutzes können deshalb in den nächsten Jahren in erster Linie auf Betriebe im Unterbaselbiet und grosse Betriebe im Laufener Becken fokussiert werden. Im Oberbaselbiet gelten die Empfehlungen für grössere Betriebe mit mehreren erosionsgefährdeten Flächen gemäss Erosionsgefährdungskarte und unterdurchschnittlichen Anteilen von Kunstwiesen.

#### Einzelempfehlungen

1. Beratung grosser Ackerbaubetriebe: Der Erosionsschutz ist in grossen Ackerbaubetrieben mit mehr als 40 ha Ackerfläche nicht generell, aber mehrheitlich schlechter als in kleineren Betrieben. Mit dem Wachsen der Betriebe besteht ein grösserer Bedarf an Beratung im Bereich des Bodenerosionsschutzes. Es wird angestrebt, solchen Betrieben auf Wunsch eine Problemanalyse und Beratung zu vermitteln und die Ergebnisse einzelner Betriebe im Sinne von Pilotbeispielen bekannt zu machen.
2. Bodenerosion in der ÖLN-Kontrolle: Die ÖLN-Kontrollure sollten im Rahmen einer der nächsten Schulungen für die spezifische Problemlage der Bodenerosion im Baselbiet und die „Hotspots“ sensibilisiert werden. Eine solche Schulung soll vor allem folgende Fragen und Punkte klären: Wo und in welchen Betrieben bestehen am ehesten Erosionsprobleme; welche ungünstigen Entwicklungen gibt es; wie kann die Erosionsgefährdungskarte genutzt

werden zum Erkennen von Betrieben mit möglichen Problemen.

3. Demonstration der Mulchsaat von Mais: Nur 15 % der Betriebe mit Mulchsaat praktizieren diese mit Mais. Im Mais ist sie aber besonders wirksam und deshalb besonders wichtig. Im Rahmen eines „Feldtages“ für die in Punkt 1 umrissene Bewirtschaftergemeinschaft sollte die konservierende Bewirtschaftungstechnik, insbesondere die Mulchsaat in Mais, vorgeführt und diskutiert werden.
4. Fruchtfolgetrennung und Schlagteilung: Das Potenzial dieser für die Bewirtschaftung oft wenig einschneidenden Massnahmen ist noch nicht ausgeschöpft. Die beiden Massnahmen sollen mit einer Schulungsunterlage in Form einer Praxisanleitung besser bekannt gemacht werden.
5. In Betrieben mit einem relevanten Anteil an Flächen mit Gefährdungsstufe 2 und 3 gemäss Erosionsgefährdungskarte sollten die ökologischen Ausgleichsflächen vermehrt zur Teilung von Hängen bzw. Schlägen eingesetzt werden.
6. Risiko der Bodenverdichtung und dadurch verstärkter Erosion: Die Traktorengewichte und Achslasten der Geräte nehmen stetig zu. Viele Betriebe haben jedoch in den letzten 10 Jahren keine neuen technischen Massnahmen zur Verringerung der mechanischen Belastung des Bodens ergriffen. Es sollte überlegt werden, wie solche technische Massnahmen besser bekannt gemacht werden können.
7. Erosionsgefährdungskarte besser bekannt machen: Mindestens ein Teil der Betriebsleiter, welche die Karte kennen, informieren sich auch über die Erosionsgefährdung in ihrem Betrieb. Es lohnt sich also, die Karte noch besser bekannt zu machen. Dafür sind zwei Wege vorgesehen:
  - Einführung der ÖLN-Kontrollure im Rahmen einer der nächsten Schulungen (siehe Pkt. 2).
  - Hinweis auf die Karte im Rahmen von Informationsveranstaltungen zur neuen Agrarpolitik: Verwendung als Grundlage zum Erkennen besonders wichtiger Flächen zur Förderung bodenschonender Bewirtschaftungssysteme über neue Direktzahlungen.
8. Neue Agrarpolitik 2014 zur besseren Verbreitung der konservierenden Bodenbearbeitung nutzen. Das LZE weist Betriebe mit möglichen Erosionsproblemen gezielt auf die neue Möglichkeit von Direktzahlungen für bodenschonende Bewirtschaftungssysteme im Rahmen der Agrarpolitik 2014/17 hin.



Abb. 1  
Flächenhafte Erosion (Oberwil).  
Flächenhafte Erosion ist unscheinbar  
und oft nur an den Ablagerungen der  
Feinerde erkennbar.  
Photo: AUE BL



Abb. 2  
Flächenhaft-lineare Erosion  
(Gelterkinden).  
Etwa 15 Erosionsrinnen erstrecken sich  
über fast die ganze Länge der Parzelle.  
Beispiel für einen grossen Erosions-  
schaden im Zusammenhang mit  
Regen und Schneeschmelze.  
Photo: AUE BL

## 1. Monitoring der Bewirtschaftung unter dem Aspekt der Bodenerosion - Ausgangspunkt und Ziele

Ackerbauliche Bewirtschaftung führt in Hanglagen zu Bodenerosion. Die Bodenabträge liegen zum Teil so hoch, dass die Ackerfähigkeit in absehbarer Zeit gefährdet ist und die Böden langfristig zerstört werden. Im Kanton Basel-Landschaft sind gemäss Erosionsgefährdungskarte 2009 (GIS-BL) fast 30 % der ackerbaulich genutzten Böden durch Bodenerosion gefährdet. Schwerpunkte der Gefährdung liegen im lössbedeckten Hügelland vom Birseck bis nach Allschwil, im Laufener Becken und im Gebiet Giebenach-Arisdorf.

Ziel einer umweltverträglichen Landwirtschaft ist auch der Schutz des Bodens. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen (Bundesgesetz über den Umweltschutz, eidgenössische Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo), kantonales Umweltschutzgesetz) verlangen von den Bewirtschaftern Vorsorgemassnahmen zum Schutz des Bodens vor Erosion. Die Vermeidung offensichtlicher Bodenerosion ist zudem auch eine Bedingung zur Erlangung des ökologischen Leistungsnachweises im Rahmen der Direktzahlungen an die Landwirtschaft. Im Rahmen einer betriebswirtschaftlich verträglichen Umsetzung des Bodenerosionsschutzes können nicht „von heute auf morgen“ auf allen Parzellen die Richtwerte des Bodenabtrags gemäss VBBo eingehalten werden. Dies ist vor allem für reine Ackerbaubetriebe mit besonders erosionsanfälligen Böden unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht ohne weiteres möglich. Entscheidend bleibt aber, dass die Entwicklung der Bewirtschaftung eine Richtung nimmt, die auf den gefährdeten Flächen schrittweise zu einer Verminderung der Bodenabträge führt. Der Erfolg einer umweltverträglicheren Landbewirtschaftung misst sich also auch an der erreichten Verminderung der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch Bodenerosion. An diesem Aspekt setzt das Erosionsmonitoring an.

Die kantonale Bodenüberwachung Basel-Landschaft (Amt für Umweltschutz und Energie Kanton Basel-Landschaft [Hrsg.] 1995) erfasst im Rahmen der Früherkennung von Risiken auch die Entwicklung der Bodengefährdung durch Bodenerosion (KABO-Baustein 6). Die Überwachung geschieht dabei nicht durch Messung oder Kartierung von Bodenerosion auf Einzelparzellen, wie dies in Langfristmessreihen von Forschungseinrichtungen geschieht (Mosimann et al. 2009, Prasuhn 2011, Bug & Mosimann 2012). Ein solches Vorgehen ist für den kantonalen Kontext zu aufwändig und zu wenig praxisnah. Die Überwachung stützt sich vielmehr auf eine systematische Bewirtschaftungsbefragung (siehe Kap. 2). Ein solches Monitoring erfasst die Entwicklung aller erosionsrelevanten Merkmale der Bewirtschaftung

und schätzt die Wirkung auf die Bodenerosion ab. Dies ermöglicht ein detailliertes Bild über Trends und Zusammenhänge im Wirkungsfeld Bewirtschaftung-Bodenabtrag.

Nach den Erhebungen in den Jahren 1992 (Mosimann 1994) und 2002 (Mosimann 2003, Mosimann et al. 2003) wurden - so weit möglich - die gleichen Betriebe im Winter 2012 erneut befragt (siehe Tab. 1). Bei Bewirtschafterwechsel der Bezugsparzellen sind die neu bewirtschaftenden Betriebe erfasst worden. Da ein Teil der Bewirtschaftungsmerkmale 1992 rückblickend für 1982 erfasst worden sind, überblickt das Erosionsmonitoring Basel-Landschaft mindestens bei den C-Faktoren nunmehr einen Zeitraum von 30 Jahren. Damit ist es auch im europäischen Rahmen die langfristigste Studie dieser Art.

Die wichtigsten Ziele und Fragen des Erosionsmonitorings lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Wie hat sich die aktuelle Erosionsgefährdung auf den 76 im Jahr 2002 untersuchten Parzellen verändert? In welche Richtung hat sich die Erosionsgefährdung in den einzelnen Regionen entwickelt und welches sind die Gründe für den festgestellten Trend?
2. Wie haben sich die Fruchtfolgen und die Anwendung bodenkonservierender Bewirtschaftungstechniken der Betriebe entwickelt und welche Konsequenzen ergeben sich für die Höhe der Fruchtfolgefaktoren? Nimmt die Erosion auf Grund der C-Faktoren zu oder ab?
3. Wie haben sich die mechanische Belastung des Bodens und die Massnahmen zu seiner Gefügestabilisierung entwickelt? Lässt die Entwicklung bei der Bodenbearbeitung und Bodenpflege eine Zu- oder Abnahme der Erosionsgefährdung erwarten?
4. Welche Massnahmen zur Verminderung der Erosionsgefährdung werden im Kanton Basel-Landschaft praktiziert und wie häufig ist deren Anwendung? Welche Bedeutung hat dies für die Erosionsgefährdung?
5. Wie gut ist die neue Erosionsgefährdungskarte in den Betrieben bekannt und wie weit wurde sie schon angewendet?
6. Gesamtbewertung der Bewirtschaftung: Wie haben sich die Indizes der bodenschonenden Bewirtschaftung entwickelt? Orientiert sich der Grad der bodenschonenden Bewirtschaftung stärker an der Erosionsgefährdung als früher?

7. Gesamtbewertung der Erosionsgefährdung (Bodenerosionstendenz): Haben die Bewirtschaftungsänderungen allgemein oder in bestimmten Betriebstypen in den letzten zehn Jahren die Gefährdung der Böden durch Bodenerosion vermindert oder verstärkt? In welcher Grössenordnung liegt die veränderte aktuelle Erosionsgefährdung?
8. Folgerungen für die Beratung und Ausbildung: Auf welchen Wegen sollen erkannte Probleme, Gefährdungsschwerpunkte und wirksame Massnahmen gezielt bekannt gemacht werden?

## 2. Methodisches Vorgehen

### 2.1 Methodische Konzeption dieser Langzeituntersuchung

Die Untersuchung beruht auf einer Langzeitbeobachtung von 70 (Stand 2012) zufällig ausgewählten, über das ganze Kantonsgebiet verstreuten Landwirtschaftsbetrieben mit Ackerbau (davon 84 % Haupterwerbsbetriebe und 16 % Nebenerwerbsbetriebe). Diese Betriebe werden alle 10 Jahre besucht und befragt. Die persönliche Befragung (strukturiertes Experteninterview) erfasst alle quantitativen und qualitativen Merkmale der Bewirtschaftung, die für die Frage der Bodenerosionsgefährdung, ihrer allgemeinen Minderung und den direkten Bodenerosionsschutz relevant sind und im Rahmen eines längeren Interviews inklusiv einer Besichtigung der Bezugsparzellen erhoben werden können. Die Geländebegehung dient der Dokumentati-on der Bezugsparzelle (Erosionssituation, Bewirtschaftung, Landschaftsstrukturelemente).

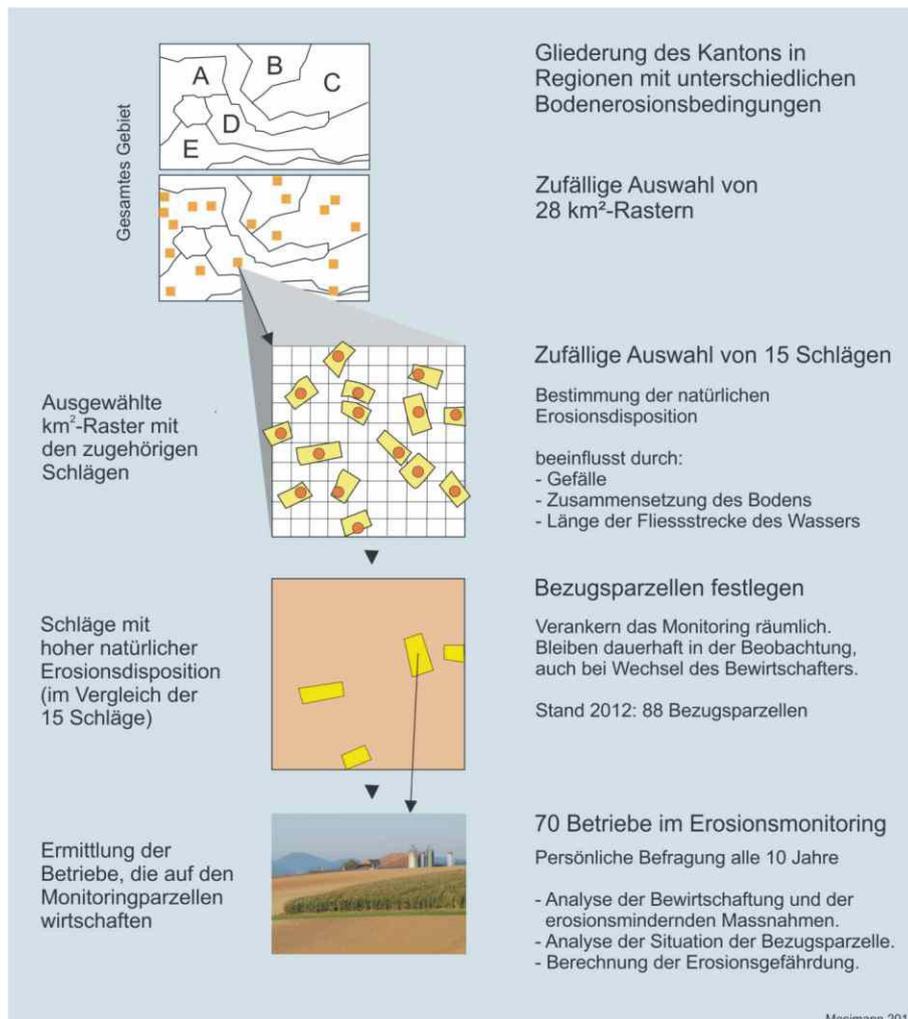


Abb. 3

Das schrittweise Vorgehen bei der repräsentativen Auswahl der Bezugspartzen und der zugehörigen Betriebe im Erosionsmonitoring. Der Bestand der Bezugspartzen bleibt so weit wie möglich unverändert. Bei Bewirtschafterswechsel kommt der neue Betrieb ins Monitoring.

Die Erhebung der Bewirtschaftung und der Erosionssituation unterscheidet zwei Ebenen:

### 1. Ebene Gesamtbetrieb

Diese Ebene erfasst alle wichtigen Betriebsmerkmale und das gesamte Bewirtschaftungssystem unter dem Aspekt direkter und indirekter Wirkungen auf die Bodenerosion. Diese Merkmale gelten im Wesentlichen für alle im Fruchtwechsel bewirtschafteten Betriebsflächen.

### 2. Ebene Bezugsparzelle

Diese Ebene erfasst die Parzellensituation, die natürliche Erosionsdisposition, besondere Gefährdungsfaktoren und die Bewirtschaftung im Detail auf den für die Untersuchung ausgewählten Bezugsparzellen. Die Bezugsparzellen sind die Basis für die Quantifizierung der Wirkung der Bewirtschaftung auf die Bodenerosion. Die Bezugsparzellen sind auch die Grundeinheit der Datenbasis. Sie bleiben in jedem Fall im Monitoring enthalten, auch wenn sie z.B. von einem anderen Betrieb übernommen werden.

Die untersuchten Betriebe sind über die zufällig ausgewählten Bezugsparzellen in die Stichprobe gelangt. Das schrittweise Vorgehen der statistisch repräsentativen Auswahl wurde bereits in Mosimann (1994) beschrieben. Abb. 3 fasst dieses zusammen. Das Auswahlverfahren ermittelt nicht beliebige Betriebe, sondern ausschliesslich Betriebe, die mindestens eine Parzelle mit **höherer Erosionsgefährdung bewirtschaften**. Es gelangen also nur Betriebe in die Erhebung, die mit einer Gefährdung des Bodens durch Bodenerosion konfrontiert sind. Aus diesem Grund geben die Zahlen zur aktuellen Erosionsgefährdung (Tab. 5) und zu den Gefährdungsstufen der Bodenfruchtbarkeit (Abb. 21) nicht die Durchschnittssituation im Kanton Basel-Landschaft wieder, sondern beschreiben die Situation von Betrieben mit stärker erosionsgefährdeten Flächen.

## 2.2 Die Betriebsbefragung 2012

Die regionale Verteilung der Betriebe kann Tab. 1 entnommen werden. Die sieben Betriebe im Laufental verteilen sich nicht auf den ganzen Bezirk Laufen. Sie liegen alle im für den Ackerbau wichtigen Kernbereich des Laufener Beckens im Perimeter Laufen-Röschenz-Brislach-Wahlen. Der Bezirk Laufental gehörte zum Zeitpunkt der Ersterhebung 1992 noch nicht zum Kanton Basel-Landschaft. Soweit möglich erfasste die erste Befragung der Laufentaler Betriebe im Jahr 2002 rückwirkend auch die Situation für das Jahr 1992. Alle Aussagen für das Laufental reichen 10 Jahre weniger zurück als für das alte Kantonsgebiet (C-Faktoren und Massnahmenindizes bis 1992, alle übrigen Aussagen bis 2002).

Alle 70 Betriebsleiter wurden persönlich auf ihren Betrieben im Zeitraum Mitte Februar 2012 bis Mitte April 2012 befragt. Die von Achim Holtmann und Philipp Saggau durchgeführten Interviews dauerten jeweils etwa zwei Stunden. In den meisten Betrieben fand die Feldbegehung der Bezugsparzellen zusammen mit den Landwirten statt. In diesem Rahmen wurden auch die erosionsrelevanten Gelände- und Parzellenmerkmale vor Ort neu gemessen. Die Bezugsparzellen sind zudem photographisch dokumentiert.

	1992	2002	2012
Anzahl befragte Betriebe total	72	76	70
Anzahl befragte Betriebe Unterbaselbiet	24	21	23
Anzahl befragte Betriebe Oberbaselbiet	48	48	40
Anzahl befragte Betriebe Laufental	0	7	7
Anzahl auswertbare Bezugsparzellen total	85	91	82
Prozentanteil der befragten Betriebe an der Gesamtzahl der Betriebe > 10 ha	7,5	9,0	9,2

Befragung 2012	Anzahl	%
Anzahl befragte Betriebe	70	100
davon bereits 1992 befragt	48	68,6
davon bereits 2002 befragt	64	91,4
davon 2012 neu befragt	6	8,6
Anteil der 2012 wieder befragten Betriebe bezogen auf die Gesamtzahl der 1992 erfassten Betriebe		66,7
Anteil der 2012 wieder befragten Betriebe bezogen auf die Gesamtzahl der 2002 erfassten Betriebe		84,2
Anteil der aus dem Monitoring ausgeschiedenen Betriebe		15,8

Tab. 1 Übersicht zu Anzahl und Anteilen der von 1992-2012 erfassten Betriebe.

Zwei Drittel der Betriebe sind seit 1992 im Monitoring.

Die Ergebnisse der Befragungen und Feldbegehungen sind in zwei für die kantonalen Behörden nicht zugänglichen Datenbanken dokumentiert:

1. Betriebsdatenbank mit über 100 Einzelmerkmalen zu Betriebstyp, Grösse der Nutzflächen, angebaute Kulturen, Bodenbearbeitung, Mechanisierung, Düngung und besonderen Massnahmen zum Bodenerosionsschutz.
2. Datenbank der Bezugsparzellen mit rund 25 Einzelmerkmalen zu Anbauzyklus, Bodenbearbeitung, Boden, Relief, Wasserabfluss und beobachtetem Erosionsgeschehen.

### 2.3 Informationen zur Stichprobe

Tab. 1 fasst die wichtigen Kennzahlen zur Stichprobe zusammen. Daraus lassen sich folgende wichtigen Punkte entnehmen:

- Die Zahl der befragten Betriebe reduzierte sich im Jahr 2012 wegen Betriebsaufgaben, Zusammenlegung und zwei Absagen auf 70. Dies sind immer noch 9% aller Betriebe mit mehr als 10 ha Nutzfläche. Es handelt sich also um eine tiefgehende Stichprobe.
- 67 % der bereits 1992 befragten und 84 % der 2002 erfassten Betriebe sind im Monitoring immer noch dabei. Damit liegt der „Verlust“ in 10-Jahresschritten nur bei ca. 15 % der Betriebe. Die Aussagen zur Entwicklung der Bewirtschaftung sind damit gut abgesichert.

Die Stichprobengrösse für die Auswertungen erreicht also maximal  $n = 70$  für die Betriebe und  $n = 82$  für die Bezugsparzellen. Die in den Abbildungen und Tabellen vermerkten Stichprobengrössen für die einzelnen Analysen liegen allerdings meist tiefer und die Werte unterscheiden sich von Auswertung zu Auswertung. Erstbefragte Betriebe fallen nämlich bei den Trendanalysen überwiegend weg. Zudem schieden bei der Analyse der einzelnen Aspekte und Zusammenhänge meist einige Betriebe und Bezugsparzellen wegen nicht eindeutig interpretierbarer Angaben, fehlender Vergleichsmöglichkeit oder Sondersituationen aus.

### 2.4 Auswertungsmethoden

Die Auswertungen umfassen die Berechnung betriebs- und parzellenbezogener Faktoren und Indizes zur Bewirtschaftung und Erosionsgefährdung, Punktbewertungen zur Aggregierung qualitativer Merkmale, explorative Datenanalyse, analytische Statistik und Korrelations-/Regressionsstatistik. Die Berechnungen, Bewertungen und Klassierungen stützen sich u.a. auf folgende Quellen:

- Berechnung der C-Faktoren: Schwertmann et al. (1990), Auerswald & Kainz (1998), Mosimann & Rüttimann (2006).
- Berechnung der übrigen Erosionsgefährdungsfaktoren: Renard et al. (1997), Schwertmann et al. (1990), Auerswald (1992).
- Einstufung der Bodenbearbeitungssysteme: Prasuhn & Grünig (2001).
- Berechnung der Massnahmenindizes: Mosimann (1994).
- Klassifikation der Bodenmerkmale: Brunner et al. (1997), Bodenkarten 1: 5'000 des Kantons Basel-Landschaft.

Zur Bewertung und Aggregierung einzelner Merkmale und Faktoren werden - so weit benötigt - bei den jeweiligen Ergebnissen kurze Bemerkungen angefügt. Die statistischen Analysen erfolgen nach den üblichen Verfahren. Sie wurden mit EXCEL™ und SPSS™ durchgeführt.

### 3. Gefährdung und Schutz des Bodens durch die Bewirtschaftung: Die Entwicklung der einzelnen Merkmale, Indikatoren und Wirkungsbereiche

#### 3.1 Der Wirkungsbereich Fruchtfolgen und Winterbedeckung

##### 3.1.1 Der C-Faktor als Indikator für die Fruchtfolge-wirkung auf die Erosion

Die Fruchtfolge beeinflusst das Erosionsgeschehen an zentralen Punkten. Sie ist deshalb auch ein Angelpunkt bei den Schutzmassnahmen. Die Fruchtfolge wirkt über die Bodenbedeckung, die Durchwurzelung, die Humusmehrung oder -zehrung und über die mit den einzelnen Kulturen verknüpfte Art der Bodenbearbeitung. Der Einfluss der Fruchtfolge kann also nicht nur über einen Bedeckungsfaktor erfasst werden. Notwendig ist ein Indikator, der die Art und Entwicklung der Kulturen, die damit verknüpfte Bodenbearbeitung und besondere Anbautechniken v.a. der konservierenden Bodenbearbeitung berücksichtigt. Dies ist im C-Faktor der Universal Soil Loss Equation (USLE) nicht in allen Aspekten, aber im Wesentlichen erfüllt (siehe Kasten).

##### 3.1.2 Allgemeines zu den C-Faktoren im Kanton Basel-land

Im Rahmen der Modellierung der neuen Erosionsgefährdungskarte des Kantons Basel-Landschaft (Mosimann & Bug 2010) wurde die Situation bei den Fruchtfolge- und Bearbeitungsfaktoren für das ganze Kantonsgebiet neu erfasst. Grundlagen dafür sind:

- Eine Auswertung der Anteile der angebauten Ackerkulturen für alle Gemeinden (Bezugsjahr 2008).
- Ein Expertenworkshop am Landwirtschaftlichen Zentrum Ebenrain, in dessen Rahmen die aktuelle Situation bei der Bewirtschaftung regional differenziert charakterisiert und eingestuft wurde.

Auf dieser Grundlage konnten für acht Gemeindegruppen mit ähnlichen Anteilen der angebauten Kulturen Häufigkeitsverteilungen der C-Faktoren errechnet werden (Abb. 2). Das gesamte Spektrum der C-Faktoren im Kanton ist also gut bekannt.

Wegen der grossen Unterschiede bei Klima und Bodenqualität unterscheiden sich die Anteile der angebauten Kulturen in den vier Regionen Unterbaselbiet, Laufental, Tafeljura und Faltenjura stark. Die grössten Unterschiede bestehen beim Anteil der Kunstwiesen. Deutlich unterscheiden sich weiter die Anteile bei Soja, Rüben, Kartoffeln und Gemüse. Die Kunstwiesenanteile variieren zwischen weniger als 10 % (mehrere Gemein-

#### Der Fruchtfolge- und Bearbeitungsfaktor C: Was steckt dahinter?

Der C-Faktor drückt aus, um wieviel niedriger der Bodenabtrag unter einer gegebenen Fruchtfolge im Vergleich zu einem brachliegenden Acker ohne Pflanzenrückstände liegt (C-Faktor der Schwarzbrache: 1,0; C-Faktor der Fruchtfolge: Wert unter 1. Im schweizerischen Ackerbau meist im Bereich von 0,02 bis 0,3).

Der C-Faktor berücksichtigt zwei Effekte: den Schutz der Bodenoberfläche vor dem Aufprall der Regentropfen durch die Bodenbedeckung der verschiedenen Kulturen und den Einfluss der zum Teil ebenfalls kulturabhängigen Bodenbearbeitung auf die Stabilität der Krümel. Bodenbedeckung und Bodenzustand verändern sich im Jahresverlauf ständig. Diese müssen deshalb in Verknüpfung mit der jährlichen Verteilung der erosiven Wirkung der Niederschläge betrachtet werden. Eine mangelhafte Bedeckung des Bodens gefährdet natürlich den Boden in einer Periode mit schwachen Regen viel weniger als in einer Periode mit häufigen starken Regen. Intensive Regen fallen vor allem in der Periode von Mai bis August.

Die Berechnung der C-Faktoren basiert auf den Relativen Bodenabtragswerten der einzelnen Kulturen (RBA: Abtragsstandardwert der Kultur im Vergleich zur Schwarzbrache), den regionstypischen Entwicklungsphasen der Kulturen (Kulturkalender) und der regionstypischen jährlichen Verteilung der Erosivität der Niederschläge. Die RBA-Werte wurden den Kalibrierungstabellen des digitalen Erosionsschlüssels des schweizerischen Mittellandes entnommen (ErosionV2.0). Schwierigkeiten macht die Einstufung des Gemüses, auch weil mehrere Gemüsesorten im Sommer hintereinander folgen. Der aktualisierte Kulturkalender und die Verteilungskurve der Erosivität der Niederschläge stammt aus den Berechnungen für die Erosionsgefährdungskarte BL. (methodische Grundlagen: Schwertmann 1990, Mosimann & Rüttimann 2006).

den im Leimental) und 45-65 % in den meisten Gemeinden im Tafeljura. Gemüse konzentriert sich weitgehend auf das Unterbaselbiet. Bei den andern Kulturen ist die Situation vielfältiger und regional ausgeglichener. Da Kunstwiesen den Boden vollständig vor Erosion schützen, sind sie der wichtigste Grund für die erheblichen regionalen Unterschiede bei den C-Faktoren (Abb. 4).

Auf die Fläche bezogen liegen die häufigsten C-Faktoren im Kanton Basel-Landschaft zwischen 0,08-0,11. C-Faktoren über 0,23 sind selten. Insgesamt ist die Erosionsgefährdung durch die Fruchtfolgen im Vergleich mit Ackerbaugebieten im Mittelland eher unterdurchschnittlich. Beim Vergleich der Gemeindegruppen werden aber die grossen regionalen Unterschiede deutlich. Die häufigsten C-Faktoren sind in der Gemeindegruppe vom Leimental bis nach Giebenach mehr als doppelt so hoch als im überwiegenden Teil des Tafeljuras und etwa dreimal so hoch als im Faltenjura und einigen Tafeljuragemeinden. Das Besondere an der Erosions-situation im Baselbiet liegt im Zusammenfallen zweier Gefährdungsfaktoren: Die Gebiete mit den höchsten

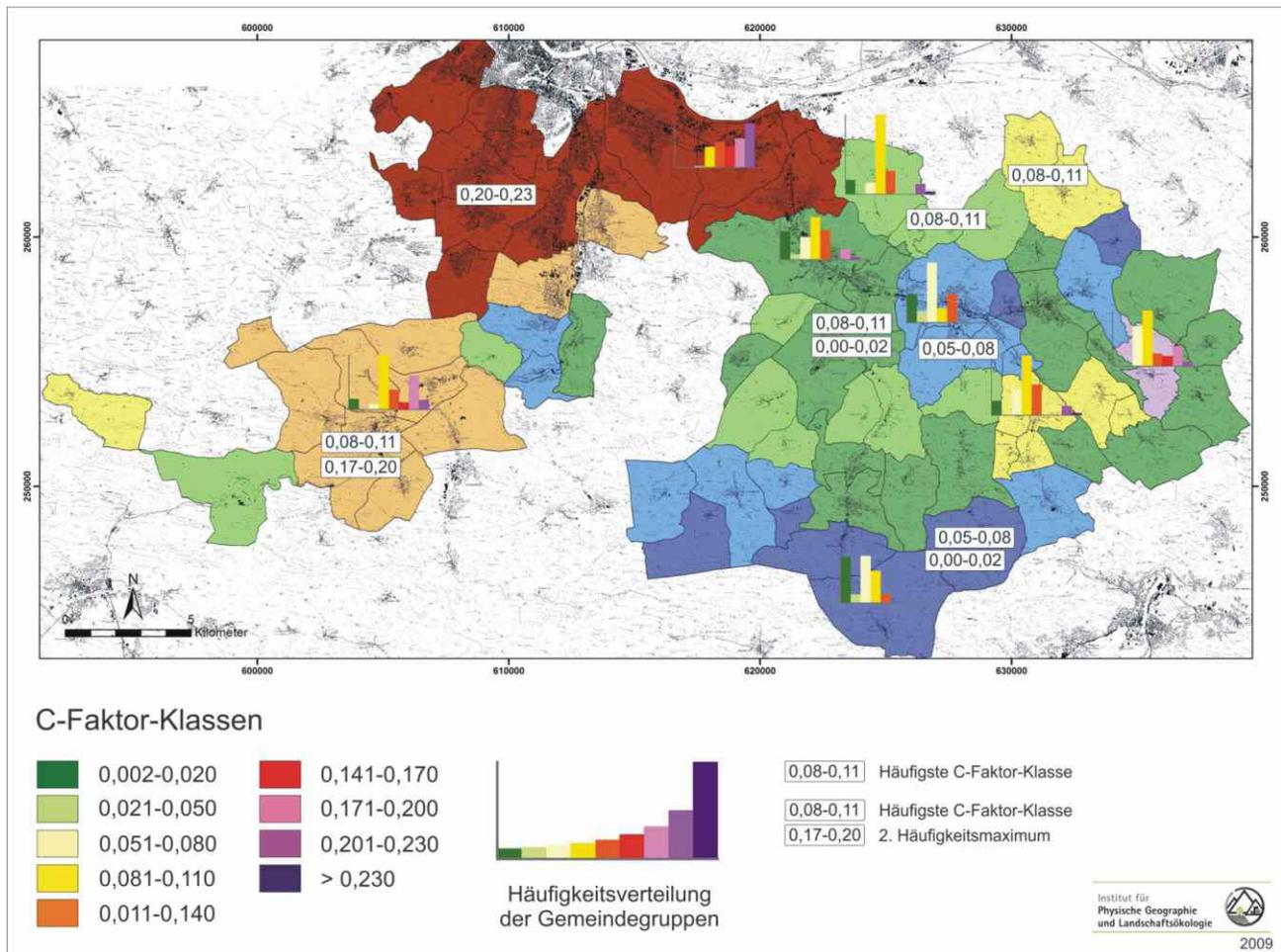


Abb. 4 Häufigkeitsverteilung der C-Faktoren in den acht Gemeindegruppen des Kantons Basel-Landschaft mit ähnlichem Anteil der angebauten Kulturen (aus Mosimann & Bug 2010).

C-Faktoren decken sich weitgehend mit den Bereichen der am stärksten erosionsanfälligen Böden (schluffreiche Böden aus Löss).

### 3.1.3 Die Fruchtfolgefaktoren in den untersuchten Betrieben

Das Gesamtspektrum der C-Faktoren auf den Bezugsparzellen der untersuchten Betriebe und die Häufigkeitsverteilungen der C-Faktor-Klassen entsprechen im Wesentlichen der Situation für den ganzen Kanton (Kap. 3.1.2). Erwartungsgemäss bildet die 9 %-Stichprobe des Erosionsmonitorings die Wirkung der Bodenbedeckung durch die Kulturen repräsentativ ab.

#### Aktuelle Situation (Fruchtfolgejahr 2011)

Die aktuellen Fruchtfolgefaktoren im Unter- und Oberbaselbiet unterscheiden sich im Mittel (arithmetisches Mittel und Medianwert) und bei den Häufigkeitsverteilungen sehr deutlich (Tab.2 und Abb. 5). Die Betriebe im Laufener Becken liegen dazwischen. Im Mittel sind die

C-Faktoren im Unterbaselbiet mehr als doppelt so hoch als im Oberbaselbiet. Die nahe beieinander liegenden Mittel- und Medianwerte zeigen, dass die Verteilungen gut gesichert sind (Normalverteilung). Die häufigsten Werte im Unterbaselbiet (0,21-0,25) sind etwa 2,5 mal höher als im Oberbaselbiet. Hohe C-Faktoren über 0,2 gibt es im Oberbaselbiet wie bisher keine. Zwei Drittel der Werte im Unterbaselbiet liegen höher als die höchsten Werte des Oberbaselbiets. Die Betriebe im Laufener Becken unterscheiden sich vom Unterbaselbiet im deutlich niedrigeren Mittelwert und Häufigkeitsmaximum und vom Oberbaselbiet im geringen Anteil niedriger C-Faktoren unter 0,1. Die Befunde für das Laufental sind wegen der geringen Anzahl der Betriebe zwar statistisch nicht gesichert. Weil alle erfassten Betriebe im oder am Rand des Laufener Beckens liegen, geben die Werte die Situation für den Ackerbau auf den tiefgründigen Lehmböden gut wieder. Die Hauptursache für die grosse regionale Differenzierung bei den Fruchtfolgefaktoren sind die in Kap. 3.1.2 bereits zusammengefassten prinzipiellen Unterschiede beim Anteil der angebauten Kulturen.

C-Faktoren		Unterbaselbiet	Oberbaselbiet	Laufental	
1982	Mittel	0,14	0,11		
	Standardabweichung	0,04	0,02		
	Anzahl Fälle	19	41		
1992	Mittel	0,15	0,09		
	Standardabweichung	0,03	0,03		
	Anzahl Fälle	23	48		
2002	Mittel	0,14	0,07		0,13
	Standardabweichung	0,04	0,05		0,06
	Anzahl Fälle	27	55		8
2012	Mittel	0,19	0,09	0,12	
	Standardabweichung	0,09	0,04	0,06	
	Median	0,21	0,08	0,13	
	Anzahl Fälle	23	39	6	

Tab. 2  
Mittelwerte und Standardabweichungen der Fruchtfolgefaktoren 1982-2012.  
Die Werte beschreiben die Situation auf den Bezugspartellen des Erosionsmonitorings.

### Entwicklung seit 1982

Im **Oberbaselbiet** hat sich die Situation bei den C-Faktoren der Bezugspartellen in den letzten 30 Jahren im Mittel kaum verändert. Bei den häufigsten C-Faktoren gab es früher Verschiebungen, in den letzten 10 Jahren jedoch nicht mehr. Im Mittel ist die Erosionsgefährdung durch die Fruchtfolgen also gleich geblieben. In den einzelnen Betrieben findet natürlich ein Wandel statt. Zu- und Abnahmen der C-Faktoren gibt es auch hier im gesamten Spektrum der Veränderungen (Abb. 6). Die Zu- und Abnahmen halten sich aber die Waage und die häufigsten Veränderungen sind geringfügig (leichte Zunahme).

Im **Unterbaselbiet** fand schon früher ein stärkerer Wandel als im Oberbaselbiet statt. In den letzten 10 Jahren haben sich aber die C-Faktoren stärker verändert und sind um etwa 30 % angestiegen. Das Häufigkeitsmaximum hat sich von der Klasse unter 0,2 in die Klasse über 0,2 verschoben (Abb. 5). Zum ersten Mal treten einzelne hohe C-Faktoren bis 0,3 auf. Bei der Betrachtung der Streuung der Veränderungen in den Betrieben (Abb. 6) ergibt sich eine klare Zweiteilung. In einem Drittel der beobachteten Betriebe hat sich der C-Faktor kaum verändert und in zwei Drittel mit mehr als 0,05 Einheiten deutlich zugenommen (Ursachen siehe unten).

Im **Laufental** sind die Fruchtfolgefaktoren der beobachteten Betriebe in den letzten 10 Jahren im Mittel gleich geblieben. Es gab jedoch in allen Betrieben Änderungen, wobei sich wie im Oberbaselbiet Zu- und Abnahmen gegenüber stehen. Wegen der geringen Zahl der vergleichbaren Fälle (n=6), ist die grössere Häufigkeit der Abnahmen (Abb. 6) statistisch nicht aussagekräftig.

### Ursachen veränderter C-Faktoren

Aus einer Einzelanalyse der Betriebe mit veränderten C-Faktoren lassen sich die Veränderungen der Bewirtschaftung ermitteln, die zu einem schlechteren oder besseren Schutz des Bodens vor Erosion geführt haben.

Ursachen höherer C-Faktoren im Unterbaselbiet und Laufental:

- Wegfall Kunstwiesen (25 % -> 0 %), Kartoffeln an Stelle von Mais und Rüben.
- Wegfall Kunstwiesen (15 % -> 0 %).
- Wegfall Kunstwiesen (10 % -> 0 %), Zunahme Mais (10 % -> 25 %).
- Zunahme Mais um 15-20 % (0 % -> 20 %, 20 % -> 35 %).
- Zunahme Mais (10 % -> 20 %) und Kartoffeln (0 % -> 10 %).
- Zunahme Soja (10 % -> 25 %).

Ursache höherer C-Faktoren im Oberbaselbiet:

- Wegfall Kunstwiesen 50 % -> 0 %), Ersatz durch Getreide.
- Abnahme Kunstwiese (50 % -> 33 %), Zunahme Mais (0 % -> 15 %).
- Zunahme Mais um 15-20 % (25 % -> 35 %, 15 % -> 35 %).

Diese Verschiebungen sind zum Teil eine Folge optimierter Fruchtfolgen im Zusammenhang mit der gemeinschaftlichen Bewirtschaftung von Flächen.

Der Anteil der Betriebe mit extensivem Bodenbearbeitungssystem (siehe dazu Kap. 3.2.1) hat sich im Unterbaselbiet in den letzten 10 Jahren von unter 10 % auf etwa 20 % erhöht (Abb. 11). Der Anteil der Betriebe mit Mulchsaat in einzelnen Kulturen stieg generell von 10 % auf 40 % (Abb. 15). Die konservierende Boden-

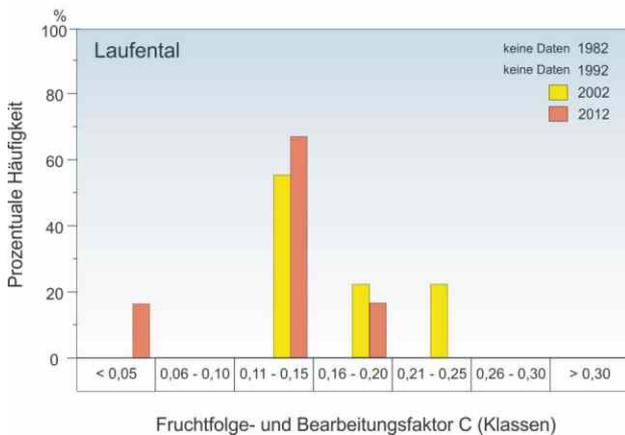
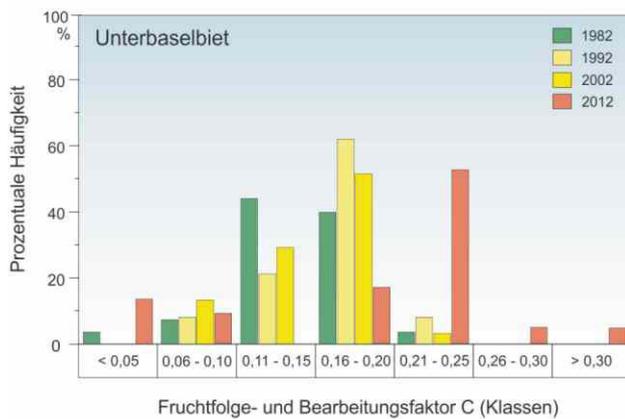
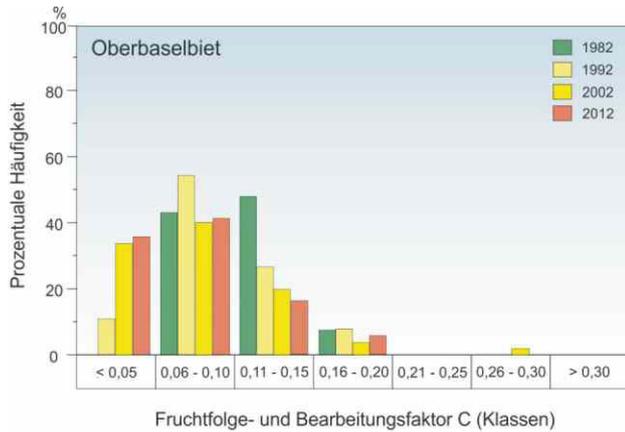


Abb. 5 Häufigkeitsverteilungen der Fruchtfolgefaktoren 1982-2012.

Die Werte beschreiben die Situation auf den Bezugsparzellen des Erosionsmonitorings.

bearbeitung nimmt also zu, was sich günstig auf die Bodenstabilität auswirkt und die Erosion vermindert. Warum nahmen die C-Faktoren im Unterbaselbiet im Durchschnitt gleichwohl zu? Die Erhöhung der Maisanteile in den einzelnen Fruchtfolgen ist nebst der Abnahme von Kunstwiesenanteilen die wichtigste Ursache für steigende C-Faktoren. Leider finden nur etwa 10 % aller Mulchsaaten in Mais und vereinzelt in Konservenerbsen statt (Abb. 12), wo sie die Erosionsgefährdung durch die betreffende Kultur um etwa den Faktor 5 verringern können. Der grösste Teil der Mulchsaaten sind Getreide und Kunstwiesen. Diese Mulchsaaten verändern die C-Faktoren der ganzen Fruchtfolge wenig, weil sich in diesen Kulturen die Bodenbedeckung konventioneller und konservierender Bewirtschaftung weniger stark unterscheidet.

Hauptursachen tieferer C-Faktoren:

- Zunahme Kunstwiesen (0 % -> 20 %, 0 % -> 30%), Abnahme Mais (25 % -> 10 %, 45 % -> 30 %).
- Starke Zunahme Kunstwiesen (20 % -> 100 %, 40 % -> 100 %), Wegfall Mais (40 % -> 0 %, 20 % -> 0 %).
- Zunahme Kunstwiesen (35 % -> 55 %), Abnahme Getreide (55 % -> 30 %).
- Wegfall Gemüse (20 % -> 0 %).

Die Hauptursache tieferer C-Faktoren sind mindestens 20 % höhere Kunstwiesenanteile verbunden mit einer Abnahme oder dem Wegfallen von Mais.

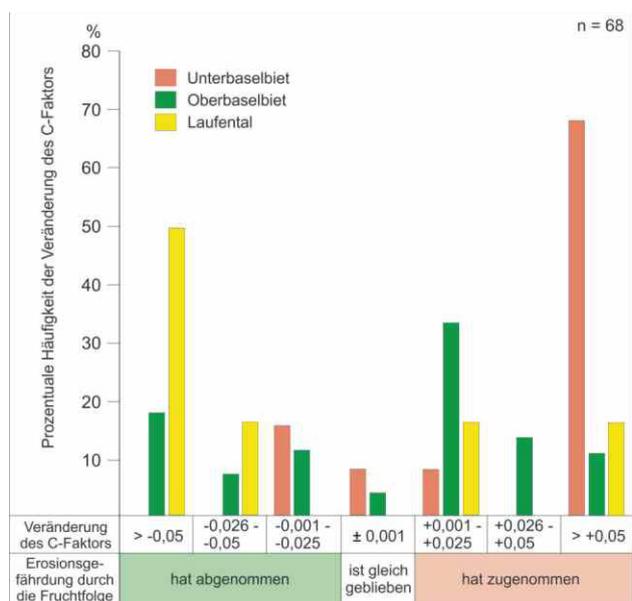


Abb. 6 Veränderung der Fruchtfolgefaktoren 2002-2012. Häufigkeiten unterschiedlicher Zu- und Abnahmen

Der Zusammenhang zwischen ackerbaulicher Nutzfläche und C-Faktor

Es besteht ein im Trend eindeutiger aber statistisch nur schwacher Zusammenhang zwischen der Grösse der ackerbaulichen Nutzfläche und der Höhe der C-Faktoren (Abb. 7). Allgemein ausgedrückt: Je grösser die Ackerfläche des Betriebs, desto höher ist gesamthaft gesehen die Gefährdung der Böden durch die Fruchtfolgen. Dies ergibt sich aus dem einfachen Zusammenhang, dass marktorientierter Ackerbau (teils mit Gemüse) auf guten Böden nahezu immer stärker erosionsgefährdende Kulturen mit einschliesst (Körner- und Silomais, Rüben, Kartoffeln, Soja, Ackergemüse). Zudem lassen sich ohne oder mit nur geringen Anteilen an Kunstwiesen niedrige C-Faktoren deutlich unter 0,1 prinzipiell nicht erreichen.

Die Abhängigkeit der C-Faktoren von der ackerbaulichen Nutzfläche hat sich in den letzten 20 Jahren gesamthaft wenig verändert. Kleine Verschiebungen hängen mit dem Wachsen der Betriebe zusammen. So kommen heute sehr tiefe C-Faktoren in Betrieben bis 30 ha Ackerfläche vor. Bei Betrieben mittlerer Grösse von 30-50 ha ist das Spektrum der C-Faktoren viel grösser geworden (0,03-0,3). Grösse und hohe C-Faktoren hängen jedoch nicht prinzipiell zusammen. Zwei der drei grossen Betriebe haben auf ihren Bezugspartellen ausgesprochen moderate Fruchtfolgefaktoren (0,1-0,15). Die Gründe dafür sind Kunstwiesenanteile von 30-40 % kombiniert mit Getreide und Mais als einzige stark erosionsgefährdete Kultur mit Anteilen von max. 20-25 %. Nur viehlose grosse Betriebe haben also prinzipiell höhere C-Faktoren.

### 3.1.4 Orientieren sich die Fruchtfolgefaktoren besser an der natürlichen Erosionsdisposition?

Angepasste Fruchtfolgen haben eine hohe Bedeutung im Erosionsschutz. Dies zeigt sich am Spektrum der Fruchtfolgefaktoren im Kanton Basel-Landschaft. Das Verhältnis der niedrigsten und höchsten C-Faktoren beträgt etwa 1:15. Unter den ungünstigsten Fruchtfolgen liegt die Erosionsgefährdung bei sonst gleichen Erosionsbedingungen also 15 mal höher als in der günstigsten Fruchtfolgesituation. Vorsorgender Bodenschutz sollte die Fruchtfolgefaktoren so weit wie möglich an die natürliche Erosionsdisposition anpassen. Gibt es unterdessen einen Zusammenhang zwischen Fruchtfolgen und standörtlicher Erosionsgefährdung?

Die Antwort fällt wie bisher differenziert aus. Abb. 8 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Fruchtfolgefaktor C und dem Gefälle der Bezugspartellen, Abb. 9 den entsprechenden Zusammenhang zur gesamten standörtlichen Erosionsgefährdung. Die natürliche

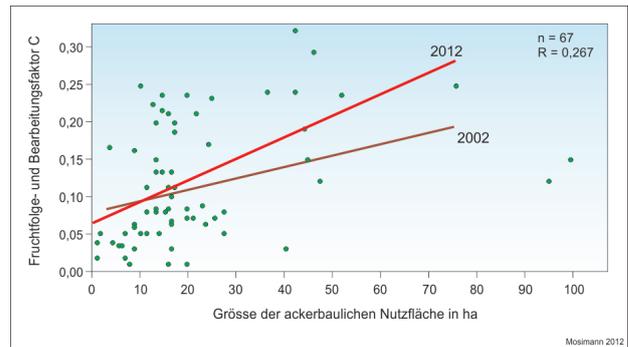


Abb. 7 Abhängigkeit der Fruchtfolgefaktoren von der Betriebsgrösse (ackerbauliche Nutzfläche 2011)

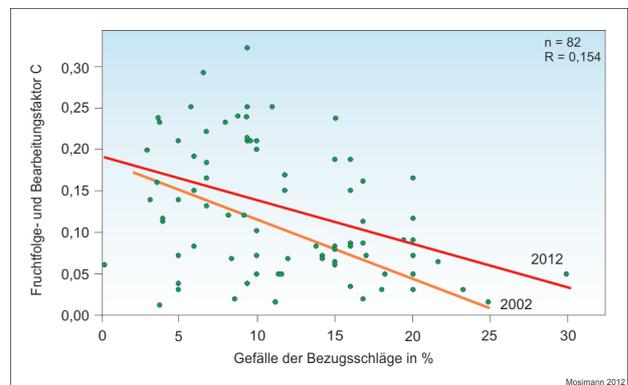


Abb. 8 Abhängigkeit der Fruchtfolgefaktoren auf den Bezugspartellen vom Gefälle der Schläge.

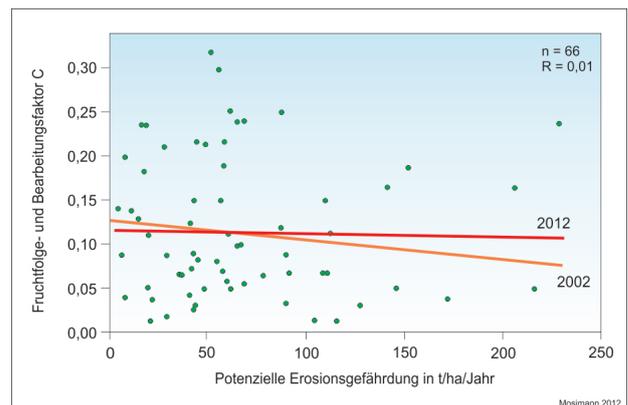


Abb. 9 Abhängigkeit der Fruchtfolgefaktoren auf den Bezugspartellen von der natürlichen Erosionsdisposition.

Die natürliche Erosionsdisposition (standörtliche Erosionsgefährdung) ergibt sich aus Gefälle, Hanglänge, Bodeneigenschaften und erosiver Wirkung der Regen (Multiplikation der Faktoren S, L, K und R der allgemeinen Bodenabtragsgleichung).

Erosionsdisposition ergibt sich aus Gefälle, Länge der Fliessstrecke, Bodeneigenschaften und erosiver Wirkung der Regen. Der Vergleich von Abb. 8 und 9 ergibt unterschiedliche Befunde:

- Die Erosionsgefährdung durch die Fruchtfolgen nimmt mit zunehmendem Gefälle im Gesamttrend ab. Die Einzelwerte streuen jedoch sehr stark. Der Zusammenhang wird nur deutlich, wenn die steilen Schläge mit mehr als 15 % Gefälle im Vergleich mit den übrigen betrachtet werden (Abb. 6). Insgesamt ist der Zusammenhang eher schwächer als vor 10 Jahren (statistisch nicht gesichert).
- Einen Zusammenhang zwischen den Fruchtfolgefaktoren der Bezugsparzellen und der standörtlichen Erosionsgefährdung gibt es jedoch wie bisher nicht. Dies heisst jedoch nicht, dass im Einzelfall keine solchen Anpassungen stattgefunden haben (siehe dazu Abb. 15).

Bezogen auf die standörtlichen Erosionsbedingungen streuen also die Fruchtfolgefaktoren in einem sehr weiten Bereich. Bei der Abhängigkeit vom Gefälle fällt aber auf, dass bei Parzellenneigungen über 20 % nur noch niedrige C-Faktoren auftreten. Auf für den Ackerbau extrem geneigten Parzellen gibt es nur noch Fruchtfolgen mit 50-100 % Kunstwiese und Getreide. Im Jahr 2002 lag diese Gefällegrenze noch bei 16 %. Es hat also auf besonders steilen Flächen im Vergleich zu 2002 keine weitere Anpassung stattgefunden. Die auf den steileren Flächen viel häufiger vorkommenden besonders tiefen C-Faktoren ergeben sich aus Fruchtfolgen mit sehr hohem Kunstwiesenanteil, Buntbrachen und als weitere Frucht ausschliesslich Getreide. Die Zunahme der Kunstwiesen auf solchen Flächen scheint aber abgeschlossen zu sein. Wünschbar für die Zukunft ist deshalb ein höherer Anteil von ökologischen Ausgleichsflächen in steilen Lagen.

Wie schon 2002 ist also auf steilen Parzellen die Erosionsgefährdung durch die Bewirtschaftung niedriger und auf sehr steilen gering. Ansonsten gibt es keinen Trend einer Anpassung der Bewirtschaftung an die standörtliche Erosionsgefährdung. Fruchtfolgen und konservierende Anbautechniken wie die Mulchsaat sind nach wie vor nicht an die Gefährdungsfaktoren Hanglänge (hängt stark von der Parzellengrösse ab) und die Erosionsanfälligkeit des Bodens angepasst. Die Marktrealität der Bewirtschaftung führt zum Gegenteil. Im Unterbaselbiet mit den wesentlich erosionsanfälligeren Böden liegen die C-Faktoren unterdessen mehr als doppelt so hoch als im Jura (Tab. 2).

### 3.1.5 Die Entwicklung der Winterbedeckung

Der Fruchtfolgefaktor berücksichtigt den gesamten Jahresablauf der Bodenbedeckung. Der bodenschützende Effekt der Winterbedeckung ist also mit eingerechnet. Aus den Mindestanforderungen für den ökologischen Leistungsnachweis für den Anteil und die Abfolge der Kulturen auf den einzelnen Flächen ergibt sich quasi automatisch ein Mindestanteil an Winterbedeckung. Variabel ist der Anbau von Zwischenfrüchten und der Einsatz von Mulchsaaten bei Sommerkulturen. Je nach Jahr und örtlicher Erosionssituation kann die Wintererosion einen Anteil von bis zu 50 % an der Gesamterosion erreichen (Prasuhn 2011, Mosimann & Bug 2012). Für die Beurteilung der Entwicklung der Erosionsgefährdung ist es deshalb interessant, die Entwicklung der Winterbedeckung gesondert zu betrachten.

Winterbedeckung geschieht durch Kunstwiesen, Winterhauptkulturen (Getreide und Raps), abfrierende und winterharte Zwischenfrüchte sowie Mulch aus Ernterückständen. Zwei Drittel der Betriebe haben mehrjährige Kunstwiesen und etwa 40 % Zwischenfrüchte. Mulchsaaten werden grösstenteils für Winterkulturen und Kunstwiese angewendet (Abb. 10). Allgemein prägen die besonders im Oberbaselbiet sehr verbreiteten Kunstwiesen und der hohe Anteil an Winterfrüchten die Winterbedeckung. Die zunehmende Verbreitung der Mulchsaaten (Abb. 15) hat vor allem die Winterbedeckung in Wintergetreide verbessert. Schwarzbrachen gibt es noch in 9 % der erfassten Betriebe (Unterbaselbiet und Laufental 10 %, Oberbaselbiet 8 %).

Entwicklung im Oberbaselbiet:

Einer Zunahme von Kunstwiesen und Grünbrachen in drei Viertel aller Betriebe steht eine entsprechende Abnahme der Winterbedeckung durch Winterhauptfrüchte gegenüber (Abb. 10). Wegen der Abnahme von Sommerkulturen gibt es weniger Winterbedeckung durch Zwischenfrüchte. Die Situation bei den Brachen hat sich nur geringfügig verändert. Insgesamt ist die Winterbedeckung besser geworden.

Entwicklung im Unterbaselbiet und Laufener Becken:

Die Veränderungen sind insgesamt geringer als im Oberbaselbiet, tendieren aber in die gleiche Richtung. Kunstwiesen nahmen häufiger zu als ab. Dem stehen mehr Abnahmen von Winterfrüchten als Zunahmen gegenüber. Bei den Zwischenfrüchten gibt es insgesamt nur eine Verschiebung von winterharten zu abfrierenden Arten, was sich zum Teil durch die etwas häufigeren Mulchsaaten von Mais erklärt. Die Veränderung bei den Brachen ist gering. Insgesamt hat sich die Winterbedeckung geringfügig verbessert.

Die Erosionsgefährdung im Winter hat sich also insgesamt etwas verringert. Die Hauptgründe dafür sind

- die Zunahme der Kunstwiesen und Grün-/Buntbrachen, welche Wintergetreide und Zwischenfrüchte vor Sommerkulturen ersetzen und
- die Zunahme der Mulchsaaten von Winterkulturen, welche die geringe Bodenbedeckung von Wintergetreide (5-10 %) verbessern.

Insgesamt hat die Winterbedeckung wegen der hohen Kunstwiesenanteile im Oberbaselbiet und den Vorgaben des ÖLN einen hohen Stand erreicht. Sie lässt sich relevant nur noch in Betrieben mit erosionsanfälligen Sommerkulturen durch vermehrten Einsatz von Zwischenfrüchten und damit verbundenen Mulchsaaten verbessern (Kap. 3.2.1).

### 3.2 Der Wirkungsbereich Bodenbearbeitung und mechanische Beanspruchung des Bodens

Die Bodenbearbeitung greift über Lockerung, Verdichtung, Verkleinerung, wenden/nicht wenden, vertikale Verteilung der organischen Substanz in der Krume, Düngung usw. umfassend ins Erosionsgeschehen ein. Ein Teil dieser vielfältigen Effekte lässt sich in ihrer Wirkung auf den Bodenabtrag quantifizieren. Ein Teil der Effekte kann nur qualitativ beurteilt werden (positiv/negativ), weil experimentelle Daten zur Wirkung auf den Bodenabtrag unter Standardbedingungen fehlen und die Kombinationen verschiedener Einflüsse, Arbeitsschritte und Effekte auf den Boden zu vielfältig sind. Die quantifizierbaren Effekte (die üblichen an die Kulturen gekoppelte Bodenbearbeitung, wendende/nicht wendende Bodenbearbeitung, Zeitpunkte der Hauptbodenbearbeitung, Brachezustände, Mulchsaat) sind im C-Faktor bereits berücksichtigt. Die folgenden Kapitel zeigen vor allem die Trends bei den nicht oder nur teilweise quantifizierbaren erosionsrelevanten Merkmalen und Effekten der Bodenbearbeitung auf.

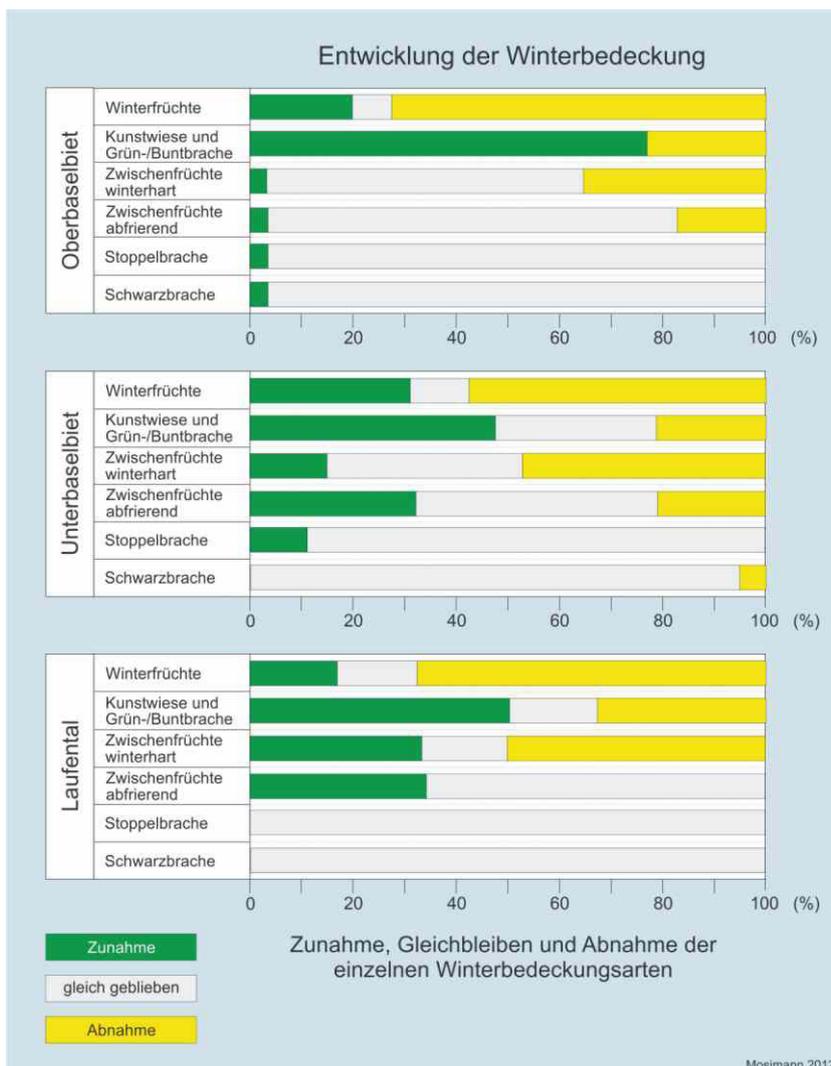


Abb. 10 Trends bei der Winterbedeckung: Häufigkeiten der Zu- und Abnahme der einzelnen Winterbedeckungsarten. Ein Trend bei den einzelnen Winterbedeckungsarten existiert, wenn der Prozentanteil der Betriebe mit Zunahme den Prozentanteil mit Abnahme deutlich übersteigt. Das Gleiche gilt umgekehrt für die Abnahme.

### 3.2.1 Bodenbearbeitungssysteme und konservierende Bodenbearbeitung

Zwischen der Intensität der Bodenbearbeitung und der Bodenerosion besteht ein vielfach belegter allgemeiner Zusammenhang. Die Bodenbearbeitungssysteme lassen sich dabei sinnvoll in fünf Kategorien klassifizieren, die Intensitätsstufen der Eingriffe in den Boden entsprechen (siehe Zusammenstellung im Rahmen). Entscheidend ist dabei wendende oder nicht wendende Bodenbearbeitung und die mechanische Intensität der Aufbereitung („Zerkleinerung“) der Krume bei der Saatbettbereitung (Art des Folgegerätes). Die Erosionsanfälligkeit des Bodens sinkt mit abnehmender Intensität des Bearbeitungssystems, allerdings nicht in regelmässigen Schritten der Intensitätsklassen. Der Unterschied wendend/nicht wendend ist grösser als die Differenz beim Einsatz intensiver und extensiver Folgegeräte.

#### Entwicklung bei den Bodenbearbeitungssystemen

Die Einstufung des Bodenbearbeitungssystems charakterisiert den grundsätzlichen Einsatz der Geräte. In einzelnen Kulturen und auf einzelnen Parzellen kann die Bodenbearbeitung im Betrieb abweichen. Die Verbreitung der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme hat sich in den letzten 10 Jahren deutlich verändert (Abb. 11).

- Die wendende Bodenbearbeitung hat zugenommen und ist 2012 der Standard in drei Viertel aller Betriebe. Die Zunahme betrifft aber ausschliesslich den Pflugeinsatz mit extensivem Folgegerät. Mögliche Gründe für die Zunahme des Pflugeinsatzes sind die Intensivierung des Futterbaues im Oberbaselbiet (Erhöhung der Milchproduktion) und eine angestrebte Verringerung des Herbizideinsatzes (wenden des Bodens verringert den Unkrautdruck).
- Im Unterbaselbiet zeigt sich bei den pfluglos arbeitenden Betrieben ein markante Verschiebung zum Einsatz extensiver an Stelle intensiver Folgegeräte. Dies hängt vor allem mit der Zunahme der Mulchsaaten zusammen.
- Direktsaat und Streifenfrässaat als im Betrieb überwiegendes Bodenbearbeitungssystem gibt es weiterhin nicht. Mulchsaaten in einzelnen Kulturen sind dagegen stärker verbreitet als 2002 (siehe unten).

Im Oberbaselbiet haben die extensiven Bodenbearbeitungssysteme nicht zugenommen und nehmen nach wie vor nur einen geringen Anteil von 10 % ein. Wegen des zunehmenden Pflugeinsatzes ist die Bodenbearbeitung insgesamt seit 2002 eher intensiver geworden. Offensichtlich setzen die tonreicheren Böden der ex-

#### Bodenbearbeitungssysteme unterschiedlicher Intensität: Übersicht zu den fünf Kategorien bzw. Intensitätsstufen

- **Kategorie 1: Direktsaat und Streifenfrässaat**  
Die Verfahren „Direktsaat bei allen Kulturen“ sowie die Streifenfrässaat von Mais, da diese vom Erosionsschutz her eine etwa gleiche Wirkung haben. Bei der Direktsaat wird zwischen einem Einsatz im ganzen Anbausystem über mehrere Jahre (Kategorie 1A) und einem Teileinsatz bei einzelnen Kulturen (Kategorie 1B) unterschieden. Streifenfrässaat gehört zur Kategorie 1B.
- **Kategorie 2: Nicht wendende Bodenbearbeitung mit extensivem Folgegerät**  
Alle Verfahren ohne Pflug mit bodengetriebenen bzw. gezogenen (=extensiven) Geräten. Darunter fallen in erster Linie Federzinkenegge und Grubber. Ein spezielles Verfahren in der Kategorie 2 ist das Direktmulchlegen von Kartoffeln. Einzelne Verfahren aus der Kategorie 2 können als Mulchsaaten bezeichnet werden. Je nach Vorkulturen, Ernteresten und Anzahl der Überfahrten werden durch die Verfahren in der Kategorie 2 die für Mulchsaaten geforderten 30 % Bodenbedeckung erreicht.
- **Kategorie 3: Nicht wendende Bodenbearbeitung mit intensivem Folgegerät**  
Alle Verfahren ohne Pflug mit mindestens einem zapfwellengetriebenen (=intensiven) Folgegerät. Als Geräte treten vor allem Kreiselegge, Zinkenrotor und Bodenfräse auf. Kategorie 3 kann nur in wenigen Fällen (viel Erntereste) als Mulchsaaten bezeichnet werden. In vielen Fällen werden hier die 30 % Mulchbedeckung nicht mehr erreicht.
- **Kategorie 4: Wendende Bodenbearbeitung mit extensivem Folgegerät**  
Alle Verfahren mit Pflug und einem bodengetriebenen Folgegerät (meist Federzinkenegge). Diese Kategorie gilt als extensives konventionelles Verfahren.
- **Kategorie 5: Wendende Bodenbearbeitung mit intensivem Folgegerät**  
Alle Verfahren mit Pflug und einem zapfwellengetriebenen (=intensiven) Folgegerät. Diese Kategorie gilt als konventionelles intensives Verfahren.

(Nach Prasuhn & Grünig 2001)

tensiven Bodenbearbeitung Grenzen. Zudem kann der höhere Anteil des Pflugeinsatzes auch eine Folge der vielen kleineren Betriebe sein, da ein Pflug immer vorhanden ist und die Landwirte die Bestellung mit dem Pflug i.d.R. selbst ausführen. Im Unterbaselbiet zeigt sich jedoch ein Trend zu extensiverer Bodenbearbeitung. Es gibt zwar etwas mehr Pflugeinsatz, aber die Hälfte aller Betriebe setzen unterdessen extensive Folgegeräte für die Saatbettbereitung ein. Fast ein Fünftel der erfassten Betriebe bewirtschaften den Boden extensiv. Damit hat sich die Widerstandsfähigkeit der Krume seit 2002 weiter erhöht. Die Betriebe mit eher extensiver und extensiver Bodenbearbeitung (Kategorie 2 und 3) können wie folgt charakterisiert werden:

- Es sind ÖLN-Betriebe und nicht Biobetriebe (mit einer Ausnahme).
- Zwei Drittel dieser Betriebe setzen Mulchsaaten ein.
- Die Betriebe haben überwiegend hohe bis sehr hohe Kunstwiesenanteile.

Zu den Betrieben mit extensiver Bodenbearbeitung gehören aber auch vier reine Ackerbaubetriebe mit hohen C-Faktoren wegen der für die Bodenbedeckung ungünstigen Zusammensetzung der Kulturen. Anteilsmässig ist die extensive Bodenbearbeitung in solchen Betrieben stärker verbreitet.

#### Einsatz und Verbreitung von Mulchsaaten

Neben dem Anteil von Kunstwiesen und besonders erosionsgefährdeten Kulturen in der Fruchtfolge ist der Einsatz von Mulchsaaten der wichtigste erosionsbeeinflussende Faktor in der Bewirtschaftung (Brunotte 2007, Mosimann 2008). Mulch schützt den Boden vor dem Aufprall der Regentropfen, bremst das oberflächlich abfliessende Wasser, regt das Bodenleben an (Jossi et al. 2011) und erhöht damit die Infiltration und die Stabilität der Krume. Im konservierenden Anbau ist deshalb die Erosion bis fünfmal niedriger als in konventioneller Bewirtschaftung unter vergleichbaren Standortbedingungen. Im Rahmen der Betriebserhebung wurden deshalb die Mulchsaaten detailliert erfasst (Kulturen mit Mulchsaat, Art der Mulchsaat, Art des Mulches, erreichte Bodenbedeckung durch Mulch und Stellung in der Fruchtfolge).

Fast 40 % der befragten Betriebe setzen heute Mulchsaaten ein. Dies ist ein starker Zuwachs seit 2002 (siehe Abb. 15) und stellt bezogen auf die Erosion die stärkste Einzelveränderung in der Bewirtschaftung dar. Es konnten 56 Einzelfälle von Mulchsaaten auf den Bezugsparzellen ausgewertet werden (Abb. 12). Dies ergibt folgende wichtige Aussagen im Hinblick auf die Auswirkungen der Mulchsaaten auf die Erosion:

- Rund 85 % der Mulchsaaten entfallen auf Getreide und Kunstwiesen.
- Nur 7 % der Mulchsaaten finden in Mais statt. Im Mais hat die Mulchsaat aber die grösste Bedeutung für die Minderung der Erosion.
- Die Mulchsaat erfolgt meistens in Pflanzenrückstände. Die häufigste Mulchart sind Getreidestoppeln. Stärker verbreitet sind auch Maisstoppel und Maishäcksel. Eher vereinzelt wird in Rapsstroh, Kartoffellaub, Rübenlaub, Gemüsereste, Getreidestroh, Sojareste und Kunstwiesen gesät.
- Mulchsaat in Zwischenfrüchte kommt mit einer Ausnahme nicht vor.

Getreide und Kunstwiesen werden also am meisten in Mulch gesät. Der grösste Teil dieser Saaten findet im Spätsommer bis Herbst statt. Damit verbessert die Mulchsaat in erster Linie die Winterbedeckung im Getreide. Dies ist wegen des erheblichen Anteils der Wintererosion (bis 50 %) eine günstige Entwicklung. Im Winter ergibt sich in einer solchen Kultur eine Erosionsminderung um etwa 75 %. Bezogen auf die Ge-

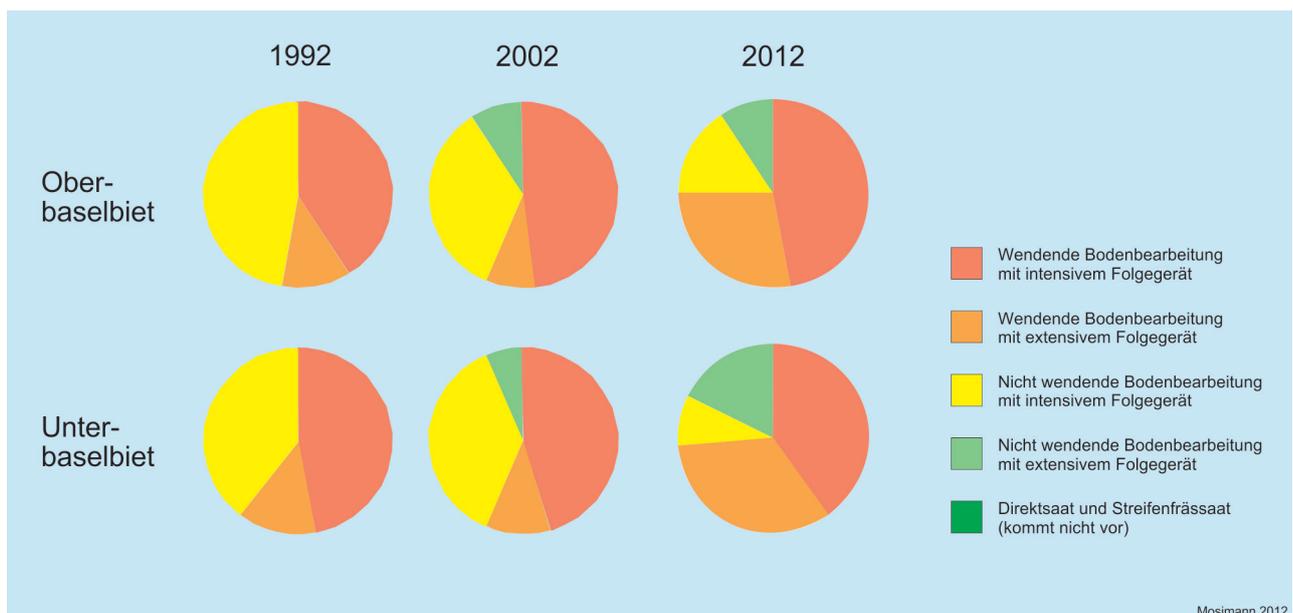


Abb. 11 Veränderung der Verbreitung von Bodenbearbeitungssystemen unterschiedlicher Intensität: Anteile 1992-2012. Im Laufental ist die Zahl der erfassten Betriebe für eine solche Darstellung zu klein.

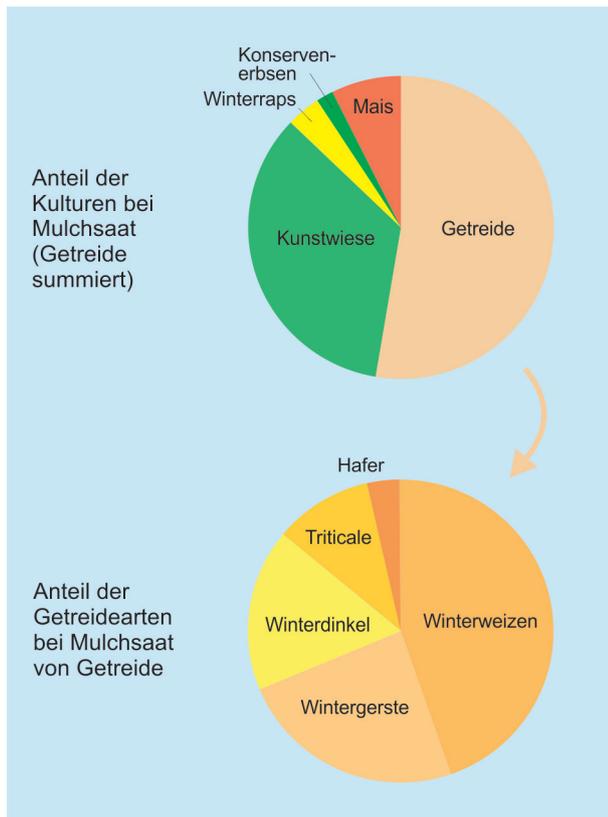


Abb. 12 Anteil der in Mulch gesäten Kulturen bezogen auf alle Mulchsaaten und Aufteilung der Getreidearten bei Mulchsaaten von Getreide. Die Auswertung bezieht sich auf 56 Mulchsaaten auf Bezugsparzellen.

samterosion des Jahres mit der Getreidekultur liegt die Minderung bei 10-20 %. Die Wirkung auf die Erosionsgefährdung der ganzen Fruchtfolgen ist jedoch gering. Die Minderung bewegt sich im Prozentbereich und damit im Fehlerbereich der Berechnung der C-Faktoren. Deshalb hat sich die Zunahme der Mulchsaaten leider nicht nachweisbar auf die Entwicklung der Fruchtfolgefaktoren ausgewirkt (Kap. 3.1).

Mulchsaat in Mais verringert den Bodenabtrag im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung je nach Entwicklungsstand der Kultur um 80-90 %, und dies in der Periode mit den erosivsten Regen. In Fruchtfolgen mit 30 % oder höherem Anteil von Mais und/oder anderen stark erosionsgefährdeten Kulturen ist der Bodenabtrag unter konservierender Bodenbearbeitung im Mittel etwa fünfmal niedriger als bei wendender Bodenbearbeitung und konventioneller Saatbettbereitung. Die Mulchsaaten von Mais übersteigen die Wirkung von Mulchsaaten von Getreide und Kunstwiesen um ein Vielfaches. Die besonders wirksamen Mulchsaaten sind jedoch im Baselbiet noch immer wenig verbreitet. Nur 8 % der erfassten Betriebe mit Mais in der Fruchtfolge bauen den Mais konservierend an. Mulchsaaten

in anderen erosionsgefährdeten oder eher erosionsgefährdeten Kulturen sind Einzelfälle (z.B. Konservenerbsen). Bei den Mulchsaaten gibt es also ein Potenzial zur zukünftigen Verbesserung des Bodenschutzes.

### 3.2.2 Mechanische Bodenbelastung: Entwicklung der Indikatoren

Einfache Indikatoren für die mechanische Beanspruchung des Bodens sind neben dem Bodenbearbeitungssystem Häufigkeit und Tiefe des Pflugeinsatzes, Anzahl Überfahrten, Traktorengewichte und Achslasten der Geräte. Die mechanische Beanspruchung wirkt dabei in Abhängigkeit der Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens. Indirekt erhöht sie die Bodenerosion durch teils flächenhafte Verdichtung mit der Folge von steigendem Oberflächenabfluss. Direkt erhöht sie die lineare Bodenerosion durch örtliche Verdichtung in Fahrspuren und im Anhaupbereich sowie durch Kanalisierung von abfließendem Wasser. Die indirekte Wirkung ist generell nicht quantifizierbar. Die direkte Wirkung kann in diesem Monitoring nicht quantifiziert werden, weil die flächenhafte Erosion nicht messbar und die Schätzung der linearen Erosion für die Bezugsparzellen für solche Aussagen nicht ausreichend präzise ist. Aus den verfügbaren Indikatoren dürfen zudem keine unmittelbaren Schlüsse auf das Ausmass der Bodenverdichtung gezogen werden. Mit der Zunahme der Gewichte und Achslasten ist auch eine technische Entwicklung verbunden (Reifen, Differenzialgetriebe zur Vermeidung von Schlupf, Allradantrieb usw.). Die Erhöhung der Arbeitsbreiten verstärkt die mechanische Belastung in den Fahrgassen, vermindert aber den Fahrspurflächenanteil. Deshalb darf aus der Zunahme von Gewichten, Achslasten und Überfahrten nicht proportional auf eine Zunahme der auf den Boden ausgeübten Drucklasten geschlossen werden. Die Indikatoren der mechanischen Belastung zeigen aber die Entwicklung des Risikos zusätzlicher Verdichtungen und damit erhöhter Oberflächenabflüsse auf.

Die quantitativ am besten gesicherten und nachvollziehbaren Indikatoren sind die Traktorengewichte und Achslasten der Geräte. In der Befragung werden die Gewichte des schwersten eigenen und schwersten eingesetzten Traktors und die Gerätetypen und Achslasten der drei schwersten eingesetzten Geräte erfasst. Es liegen für die Betriebe also mehr Informationen vor als die beiden hier ausgewerteten Indikatoren (Abb. 13 und Tab. 3). Wichtig ist, dass die Zahlen die Situation der schwersten eingesetzten Geräte wiedergeben, unabhängig davon, ob es sich um eigene oder fremde Geräte handelt.

Aus Abb. 11, 13 und 14 lassen sich die folgenden Befunde ableiten:

Bezogen auf die Bodenbearbeitungssysteme ist der Anteil der Betriebe mit Pflugeinsatz gestiegen (Abb. 11). Ein kleiner Anteil der Betriebe hat aber neu pfluglose Bearbeitung in einzelnen Kulturen. Es werden deutlich mehr extensive Folgegeräte eingesetzt als vor 10 Jahren. Die Mulchsaaten haben zugenommen. Gerätekombinationen werden erneut mehr eingesetzt. Insgesamt hat sich die mechanische Belastung bei der Bodenbearbeitung nicht wesentlich verändert. Die Beanspruchung der Krume bei der Saatbettbereitung hat mit der Zunahme der extensiven Folgegeräte abgenommen. Extensive Folgegeräte schaffen grössere Aggregate und damit eine gegenüber der Erosion stabilere Oberfläche.

Die Auswertung ergibt für 70 % der Betriebe eine Zunahme der Überfahrten. Dies ist nicht plausibel. Im Sinne eines rationellen Arbeitseinsatzes liegt eine höhere Zahl von Überfahrten nicht im Interesse der Landwirte. Es gibt auch keine Hinweise aus der Entwicklung der Bewirtschaftung im Baselbiet, die eine verbreitet steigende Zahl von Überfahrten erklären können. Hier könnte also eine systematische Abweichung der Angaben aus den Jahren 2002 und 2012 vorliegen. Plausibel ist nur die starke Zunahme der Überfahrten in einigen wenigen Betrieben. Eine allgemein steigende mechanische Belastung durch die Überfahrten lässt sich daraus nicht ableiten.

Die Gewichte der Traktoren und Achslasten der Geräte steigen kontinuierlich immer weiter an (Tab. 3 und Abb. 13). Besonders bei den Achslasten liegen die Mittel- und Medianwerte der Stichprobe 2012 nahe beieinander, was auf Normalverteilung der Stichprobe hinweist.

Die Traktorengewichte haben seit 1992 um etwa 45 % zugenommen. Dies entspricht einer Zunahme von etwa 100 kg pro Jahr. Die Achslasten stiegen um etwa 55 % bzw. etwa 150 kg pro Jahr. Bei der Zunahme sind die Unterschiede zwischen dem Unter- und Oberbaselbiet nicht gross. Im Unterbaselbiet kommen jedoch wegen der grösseren Betriebe und höherem Anteil an Marktfrüchten schwerere Geräte zum Einsatz (ca. 15 % höhere Traktorengewichte und ca. 20 % höhere Achslasten). Die Unterschiede liegen an der Grenze der jeweiligen Standardfehler der Mittelwerte (t-Test). Die Entwicklung im Laufental verläuft entsprechend. Die leichte Abnahme der Achslasten seit 2002 ist wegen der geringen Zahl der befragten Betriebe (n=7) als Zufallsergebnis einzustufen.

Die mechanische Belastung des Bodens durch die Traktoren und Geräte steigt also weiter. Gemessen an der Grösse der Betriebe ist die Landwirtschaft im Baselbiet

eher übermechanisiert. Die zunehmende betriebliche Zusammenarbeit und der zunehmende Einsatz von Lohnunternehmern ermöglicht zudem die Anschaffung grösserer Geräte. Die technische Ausstattung der Geräte wird in der Erhebung nicht erfasst. Es ist deshalb nicht bekannt, wie weit die einzelnen Geräte z.B. optimal bereift sind zur Reduzierung des Bodendruckes. Allgemein erfasst jedoch das Monitoring die im Betrieb getroffenen technischen Massnahmen zur Minimierung der mechanischen Belastung des Bodens. Hier fällt auf, dass fast 90 % der befragten Betriebe Breitreifen einsetzen (Abb. 15). Dies entspricht einer Zunahme um fast 40 % seit 2002. Mehr als die Hälfte der Betriebe hat jedoch in den letzten 10 Jahren keine neuen Massnahmen zur Minimierung der mechanischen Belastung ergriffen. Dies deutet auf eine Lücke hin zwischen der Entwicklung der Gewichte und Achslasten und der optimalen Ausrüstung der Geräte.

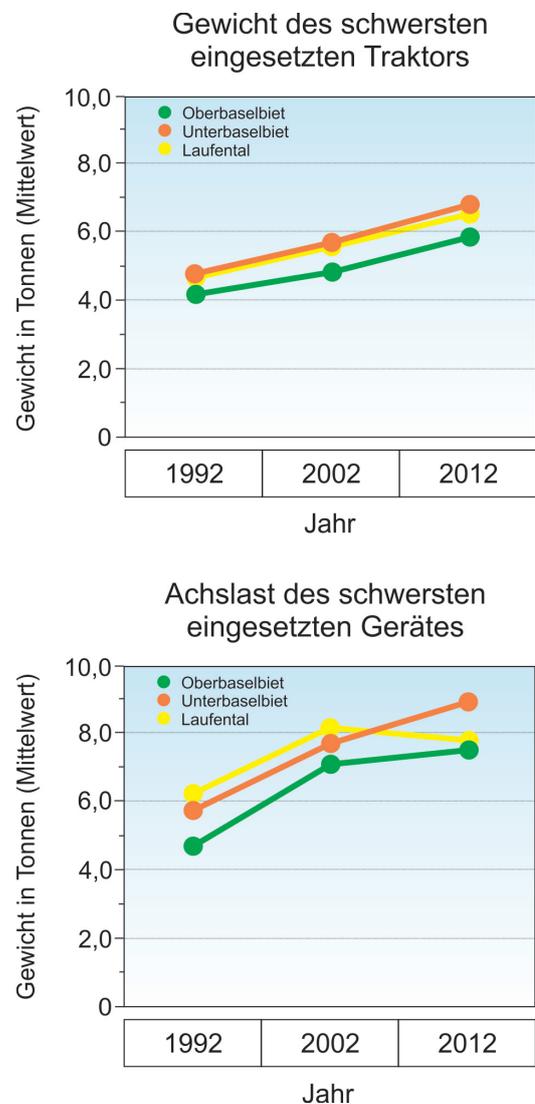


Abb. 13 Entwicklung der Traktorengewichte und Achslasten der schwersten eingesetzten Geräte 1992-2012.

Region	n	Gewicht des schwersten eingesetzten Traktors Mittelwert in kg			Achslast des schwersten eingesetzten Geräts Mittelwert in kg		
		1992	2002	2012	1992	2002	2012
ganzer Kanton	70	4350	5200	6260	5180	7400	8010
Oberbaselbiet	40	4100	4840	5910	4720	7090	7525
Unterbaselbiet	23	4750	5790	6810	5820	7720	8950
Laufental	7	4670	5570	6460	6220	8140	7790

Tab. 3  
Kennzahlen zu den Indikatoren „Schwerster Traktor“ und „Schwerstes eingesetztes Gerät“ 1992-2012.

Region	n	Gewicht des schwersten eingesetzten Traktors 2012 in kg			Achslast des schwersten eingesetzten Gerätes 2012 in kg		
		Mittelwert	S	Median	Mittelwert	S	Median
ganzer Kanton	70	6260	1760	4800	8010	2700	8000
Oberbaselbiet	40	5910	1320	4550	7525	2230	8000
Unterbaselbiet	23	6810	2370	4500	8950	3240	10000
Laufental	7	6460	1410	5500	7790	2480	8000

S: Standardabweichung

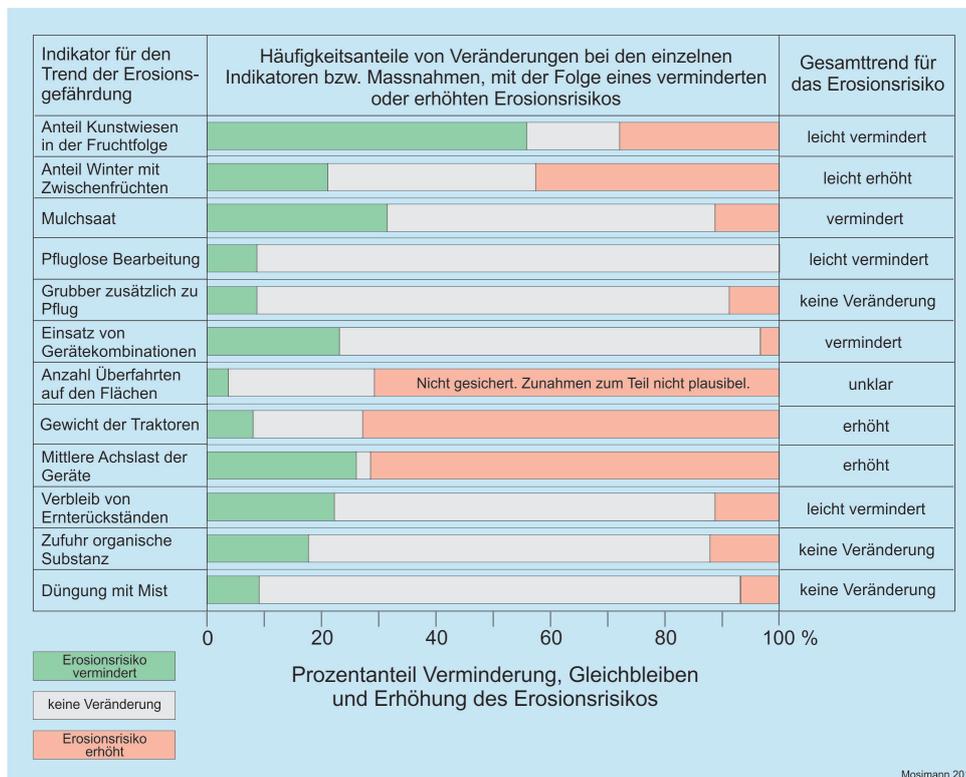


Abb. 14  
Indikatoren der Bodenbelastung und Bodenstabilisierung: Trend für das Erosionsrisiko.

Fazit: Die mechanische Belastung bei der Bodenbearbeitung zeigt unterschiedliche Entwicklungen, hat aber bei der Saatbettbereitung eher abgenommen. Die Situation bei den Überfahrten gibt keine eindeutigen Hinweise. Die Belastung durch die Häufigkeit des Befahrens hat aber nicht abgenommen. Die grösste und stetige Veränderung ist das Zunehmen der Traktorengewichte und Achslasten. Da die mechanische Belastung des Bodens durch technische Massnahmen sicher nicht voll kompensiert wird, nehmen Bodenverdichtungen eher zu. Damit steigt der Oberflächenabfluss und davon abhängig die Erosionsgefährdung.

### 3.2.3 Stabilität der Krume

Die Erosionsgefährdung der Böden hängt auch von der Stabilität der Krume ab. Je grösser die krümeligen Aggregate und je besser ihr Zusammenhalt, desto länger können sie der zerstörenden Kraft der auftreffenden Regentropfen standhalten und desto schwerer sind sie mit abfließendem Wasser transportierbar. In eine stabile Krume infiltriert zudem mehr Wasser. Der Zusammenhalt der Bodenaggregate hängt zunächst von der Bodenart (Körnungszusammensetzung des Feinbodens) ab. Diese natürliche Eigenschaft lässt sich nicht beeinflussen. Die Bewirtschaftung bestimmt jedoch die Krümelstabilität über die Fruchtfolgen, das Bodenbearbeitungssystem, die Zufuhr organischer Substanz (Maltas et al. 2012) und den Geräteeinsatz bei der Saatbettbereitung wesentlich mit. Allgemein gilt: Je humusreicher und biologisch aktiver die Krume, desto stabiler ist sie gegenüber Erosion. So vermindert zum Beispiel eine Verdoppelung des Humusgehaltes von 2 % auf 4 % die Erosionsanfälligkeit des Bodens um 30-40 %.

#### Humusgehalte der Ackerböden im Baselbiet

Für die Modellierung der Erosionsgefährdungskarte des Kantons Basel-Landschaft wurden für die Berechnung des K-Faktors die charakteristischen Humusgehalte für die Gemeinden bzw. Gemeindegruppen bestimmt. Basis dafür bildet eine zufällig ausgewählte 10 %-Stichprobe aller am LZE gesammelten Analyse der Humusgehalte (Prozentanteil organische Substanz) von Ackerböden. Diese Stichprobe umfasst rund 1'500 Daten. Auf dieser Basis lassen sich die mittleren Humusgehalte und häufigsten Humusklassen gut bestimmen. Die grossen regionalen Unterschiede lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Mittelwerte der Humusgehalte variieren zwischen 3,2-3,5 % in den Gemeinden des Unterbaselbietes und 4,5-4,8 % in mehreren Gemeinden im Übergang zwischen Tafel- und Faltenjura.
- Die häufigsten Humusgehalte liegen im Unterbaselbiet zwischen 3-4 % und in der Mehrheit der Tafeljuragemeinden sowie im Faltenjura zwischen 4-5 %.
- Besonders niedrige Humusgehalte um 2 % sind selten und lassen sich zum grössten Teil auf Äckern im Unterbaselbiet und Laufener Becken finden.

Die Humusgehalte im Baselbiet sind gemessen an anderen Ackerbaugebieten im Mittel vergleichsweise hoch. Hauptgrund sind die vielen Mischbetriebe und die verbreiteten Kunstwiesen. Der deutliche Unterschied zwischen Ober- und Unterbaselbiet liegt im Wesentlichen an den unterschiedlichen Anteilen an Kunstwiesen in den Fruchtfolgen (Kap. 3.1). Kunstwie-

sen wirken besonders humusmehrend. Ihr Einfluss ist auch zwei Jahre nach dem Umbruch noch nachweisbar. Die Ackerkrume im Oberbaselbiet ist wegen der meist niedrigeren Schluffgehalte und der höheren Humusgehalte stabiler. Aus den Unterschieden bei den Humusgehalten ergibt sich unabhängig von den anderen Einflussgrössen eine um etwa 10-15 % niedrigere Erosionsanfälligkeit der Böden im Tafel- und Faltenjura.

#### Entwicklungen mit Einfluss auf die Stabilität der Krume

Der Einfluss der Humusgehalte auf die Erodierbarkeit des Bodens lässt sich berechnen. Die vielfältigen anderen Einflüsse (siehe oben) lassen sich dagegen nur qualitativ beurteilen. Es stellt sich dabei die Frage, wie weit einzelne Entwicklungen in der Bewirtschaftung das Erosionsrisiko in den letzten zehn Jahren vermindert oder erhöht haben (Abb. 14). Folgende Trends lassen sich erkennen:

- Der Anteil der Kunstwiesen ist in einer Mehrheit der Betriebe im Oberbaselbiet und Laufental gestiegen. Die weitere Ausbreitung der Kunstwiesen erhöht aber die Humusgehalte auf den schon erreichten Humuspegeln nur noch geringfügig.
- Im Unterbaselbiet verbleiben wegen der Ausbreitung der Mulchsaaten insgesamt mehr Ernterückstände auf den Flächen. Wegen der günstigen Wirkungen auf das Bodenleben erhöht dies die Stabilität der Krume.
- Die Zufuhr organischer Substanz hat sich insgesamt wenig verändert. Betriebe mit grösserer Zufuhr (Erosionsrisiko vermindert) sind gesamthaft etwas häufiger als solche mit Abnahme (Abb. 14).

Gemessen an der bestehenden Situation (Verbreitung der Kunstwiesen, regional unterschiedliche Humusgehalte) hat sich die Stabilität der Krume durch die genannten Effekte in den letzten zehn Jahren nicht erosionswirksam verändert.

## 3.3 Der Wirkungsbereich Abflussregulierung

### 3.3.1 Bearbeitungsrichtung

Hangparallele Bearbeitung bremst oberflächlich abfließendes Wasser und begünstigt durch das verlangsamte Fließen und das Zurückhalten von Wasser in den querverlaufenden Bearbeitungsspuren auch die Infiltration. Mobilisierung und Transport der Feinerde hängen stark von der Geschwindigkeit des fließenden Wassers ab. Höhenlinienparallele Bearbeitung kann deshalb je nach Gefälle und Rauheit der Oberfläche (Tiefe der Bearbeitungsstrukturen) die flächenhafte Erosion um bis zu 40 % verringern. Sie gehört deshalb zu den wichtigen Erosionsschutzmassnahmen.

Im Kanton Basel-Landschaft wurden schon 1992 weniger als 20 % der erfassten Bezugspartellen in Gefällerrichtung bewirtschaftet. Dieser Wert hat sich nur geringfügig verändert (Anteil 2012: 22 %). Im Vergleich zu anderen Regionen ist dies unverändert eine günstige Situation. Es gibt im west- und mitteleuropäischen Ackerbau auch Gebiete, in denen noch über 80 % aller Partellen hangabwärts bewirtschaftet werden. Grösser strukturierte Ackerbaugebiete weisen normalerweise einen höheren oder viel höheren Anteil an Partellen mit Bewirtschaftung in Gefällerrichtung auf, weil sich schwere Erntemaschinen in Gefällerrichtung leichter und gefahrloser fahren lassen. In klein strukturierten Gebieten mit steilen Hängen verlaufen viele Wege eher in Gefällerrichtung, was die hangparallele Bearbeitung vorgibt oder begünstigt. Deshalb sind im Oberbaselbiet drei Viertel aller Bezugspartellen höhenlinienparallel oder leicht schräg zum Gefälle bewirtschaftet. In Gefällerrichtung verläuft die Bearbeitung nur in wenigen Prozent der Fälle. Dies ist für die Erosion eine günstige Situation. Im grösser strukturierten Unterbaselbiet und Laufental liegt der Anteil höhenlinienparalleler und leicht schräger Bearbeitung nur bei 40-50 % und auf einem Drittel der Bezugspartellen verläuft die Bearbeitung in Gefällerrichtung. Allgemein ist im Tafel- und Faltenjura aber eine streng hangparallele Bearbeitung (Konturbearbeitung) oft schwierig bis unmöglich. Dies begründet sich aus den kleinräumig differenzierten Oberflächenformen, den oft auch schräg zum Hang verlaufenden Wegen und den häufig unregelmässigen Partellenformen. Leider wirkt dadurch die in den meisten Fällen prinzipiell quer zum Hang angelegte Bewirtschaftung erheblich weniger erosionsmindernd. Je nach Winkel der schräg verlaufenden Bearbeitung resultiert bei Schrägbewirtschaftung nämlich nur noch 50-70 % des erosionsmindernden Effektes der Konturbearbeitung. Dies gilt für Partellen auf mehr oder weniger regelmässig geformten Hängen. Bei Partellen mit Hangmulden sind die Zusammenhänge komplizierter. Hier kann die Querbearbeitung die Erosion sogar verstärken, wenn sich das seitlich in den Bearbeitungsrillen abfliessende Wasser in einer muldenförmigen Tiefenlinie sammelt und gebündelt abfliesst. Aus diesem Grund ist „100 % Querbearbeitung“ nicht das Ziel des Erosionsschutzes.

Eine vollständige Umstellung der Bearbeitungsrichtung gab es nur in einem Einzelfall (quer -> Gefällerrichtung). Die meisten Veränderungen betreffen Anpassungen von Schrägbearbeitung in beide Richtungen (schräg -> höhenlinienparallel, schräg -> Gefällerrichtung). Allerdings gibt es dabei Unschärfen in der Einschätzung. Die Grenzen lassen sich zwar in Winkelgraden festlegen, bei höhenlinienparallel oder leicht schräg und stark schräg oder Gefällerrichtung jedoch nicht immer eindeutig ve-

rifizieren. Deshalb sind die Einstufungen unterschiedlicher Bearbeiter/innen in zehnjährigem Abstand nicht immer vergleichbar. Die Vergleiche der Situation 2002 und 2012 ermöglichen jedoch eindeutige Schlüsse: 60 % der Betriebsleiter haben die Konturbearbeitung optimiert (Abb. 15). Die Mehrheit der Vergleiche auf den Bezugspartellen ergab zudem eine Veränderung von schräger zu mehr höhenlinienparalleler Bearbeitung. Die günstige Situation bei der Bearbeitungsrichtung hat sich deshalb in den letzten 10 Jahren insgesamt noch leicht verbessert. Allerdings gibt es auch fünf Bezugspartellen, auch denen eine stärker zum Gefälle führende Bearbeitungsrichtung eine Mitursache höherer Abtragsbeträge ist (siehe Abb. 22).

### 3.3.2 Abflussregulierung

Überschüssiges Wasser verursacht im Kanton Basel-Landschaft auf vielen Partellen Erosion. Es handelt sich dabei um sog. Fremdwasser, das von Wegen und oberliegenden Hangbereichen auf die Partellen fliesst und um Hangwasser, das auf den Partellen selbst austritt. Dieses Wasser fliesst gebündelt oder fächerartig ab und es bilden sich regelmässig Erosionsrinnen. Auf etwa 35 % aller beobachteten Partellen fliesst häufig oder gelegentlich Wasser von oben zu. Etwa 15 % der Partellen weisen Hangnässe bzw. abfliessendes Hangwasser auf. Diese Anteile liegen deutlich tiefer als 2002. Wie weit dies eine Folge der trockeneren Jahre ab 2003 ist, lässt sich nicht ermitteln. 50 % der Bezugspartellen weisen lineare Erosion auf. Im Winter entsteht diese vor allem durch solches zusätzliches Wasser, das nicht aus dem auf die Partellen fallenden Regen stammt.

Möglichkeiten zur Regulierung des Oberflächenabflusses gibt es viele. Dazu gehören einfache Massnahmen wie Querrinnen („Wasserfurchen“) und Wiesenstreifen und aufwändige Vorkehrungen wie Einlaufschächte, Bankette, Mauern, Hecken und Talwegbegrünung. Aufwändige Massnahmen gibt es in den untersuchten Betrieben unverändert nur ganz wenige (Abb. 15). Die Bezugspartellen sind auch nicht ausgewählt auf Grund besonderer Problemsituationen für unten liegende Flächen. Landwirte scheuen aufwändige Massnahmen zur Ableitung des Wassers, wegen der zum Teil hohen Kosten, dem Flächenverbrauch oder weil sie die Bewirtschaftung behindern.

Bei den einfachen Massnahmen hat die Ableitung von Oberflächenwasser seit 2002 leicht zugenommen. Die grösste und markanteste Veränderung ergibt sich aber bei den Wiesenstreifen. Bis 2002 wurden nirgendwo erosionsmindernde Wiesenstreifen gefunden. Neu haben rund 30 % der Betriebe Wiesenstreifen als ökologische Ausgleichsflächen so angelegt, dass sie auf mindestens einem Hang der bewirtschafteten Fläche die

Erosionsgefährdung auf den unten liegenden Schlägen vermindern. Dies ist die bisher grösste Veränderung bei den abflussmindernden Massnahmen. Es zeigt, dass die ökologischen Ausgleichsflächen wirksam zur Verkürzung der Flie遡strecken durch Begünstigen der Infiltration von abfliessendem Wasser genutzt werden können.

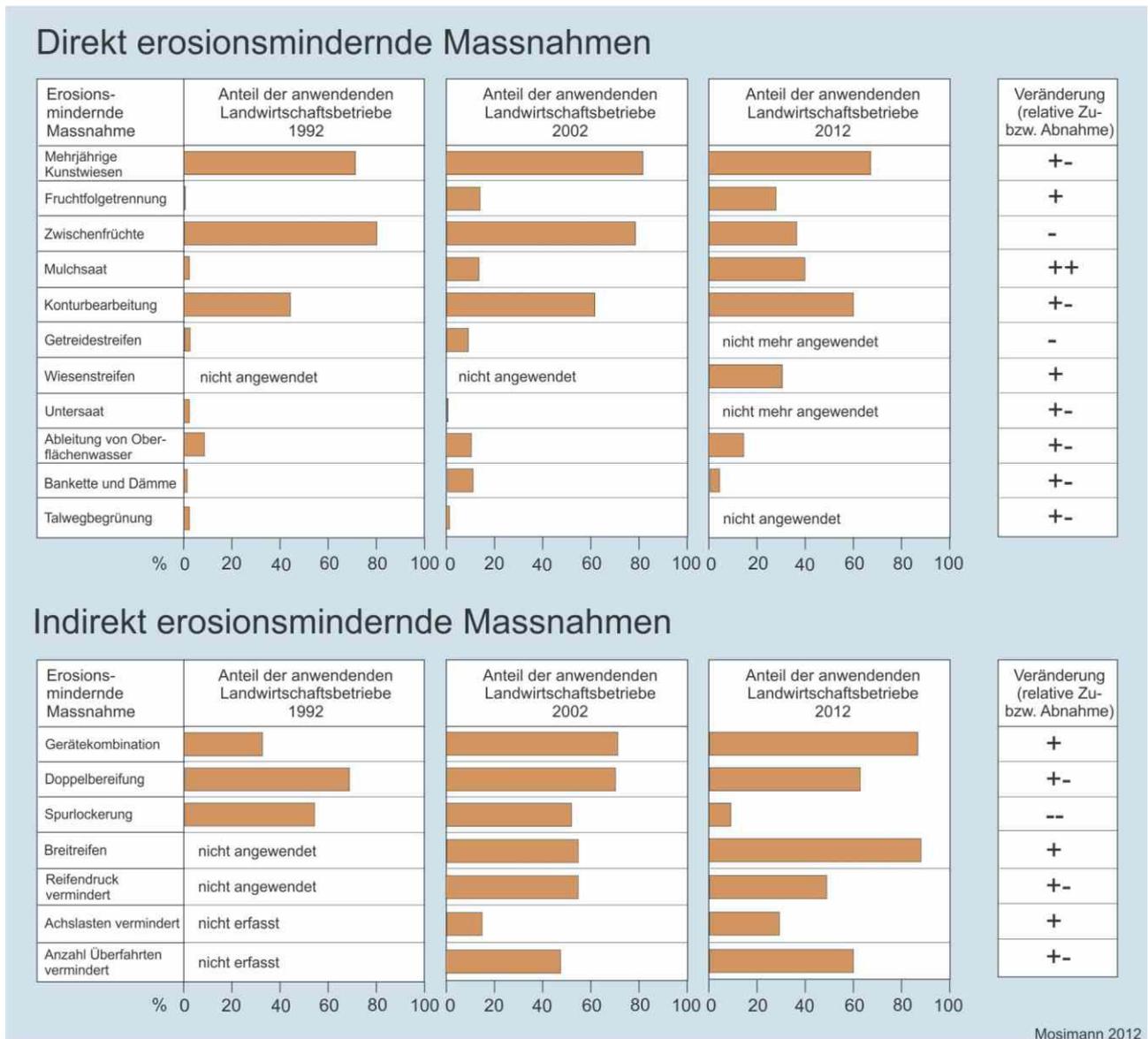


Abb. 15 Häufigkeit der Anwendung direkt und indirekt erosionsmindernder Massnahmen.

Eine Massnahme wird erfasst, wenn sie in der ganzen Bewirtschaftung, in mindestens einer Kultur oder auf mindestens einer Parzelle zum Einsatz kommt.

## 4. Minderung der Bodenerosion durch die Bewirtschaftung: Gesamtbeurteilung der Betriebe

### 4.1 Der Gesamtindex für die erosionsschützende Wirkung der Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftung einer Parzelle wirkt in vielen Teilbereichen auf die Bodenerosion. Fruchtfolgen, Bodenbearbeitung und Bearbeitungsrichtung werden bei der Berechnung der flächenhaften Erosionsgefährdung berücksichtigt. Die gesamte Wirkung der Bewirtschaftung auf den Bodenabtrag lässt sich jedoch nach heutigem Forschungsstand nicht quantifizieren. Die wichtigen Parameter und ihre Einzelwirkungen sind jedoch gut bekannt. Deshalb wurde für das erste Erosionsmonitoring im Jahr 1992 ein qualitatives Bewertungsverfahren entwickelt, welches zusätzlich zum C-Faktor weitere Elemente des Erosionsschutzes berücksichtigt (Mosimann 1994). Die verschiedenen Elemente werden dabei mit Punktzahlen indiziert (siehe Kasten). Die Summe der erreichten Punkte stuft den Grad der erosionsmindernden Bewirtschaftung gesamthaft ein. Dieser qualitative „Massnahmenindex“ erlaubt

- eine Einstufung der Betriebe im Gesamtspektrum des Kantons,
- eine Beurteilung des Wandels über die Zeit (einzelbetrieblich und gesamthaft),
- die Prüfung des Zusammenhangs zwischen Erosionsgefährdung und Massnahmen gegen die Bodenerosion und
- die Suche nach Zusammenhängen zwischen Eigenschaften der Betriebe und dem Grad des Erosionsschutzes.

### 4.2 Wie hat sich der Erosionsschutz gesamthaft entwickelt?

#### 4.2.1 Die Veränderungen der Schutzmassnahmenindizes seit 1992

Die Entwicklung der Schutzmassnahmenindizes verlief regional etwas unterschiedlich. Für den ganzen Kanton gilt jedoch: Es gibt gesamthaft keine Verbesserung des Erosionsschutzes. Die maximal erreichten Werte sind nicht höher als früher und Betriebe mit Abnahme des Indexes überwiegen die Zahl der Betriebe mit Verbesserungen deutlich. Im Einzelnen lassen sich aus Abb. 16 und 17 folgende Entwicklungen erkennen:

#### Der Aufbau des Indexes für den Grad der erosionsmindernden Wirkung der Bewirtschaftung (Massnahmenindex)

*Optimierung der Bodenbedeckung und des Bodenzustandes in der Fruchtfolge*

Indikator: C-Faktor  
Punktzahl: max. 60

*Mechanische Schonung des Bodens*

Indikatoren: Anzahl Überfahrten, Einsatzgewichte, technische Massnahmen an Maschinen, Geräteeinsatz  
Punktzahl: max. 10

*Zufuhr organischer Substanz zur Krustenstabilisierung*

Indikatoren: Düngerart, Ernterückstände  
Punktzahl: max. 10

*Verminderung und Bremsung des Oberflächenabflusses*

Indikatoren: Bearbeitungsrichtung, Bankette und Dämme, Hecken/Wiesenstreifen  
Punktzahl: max. 20

Der Index der Schutzmassnahmenintensität ergibt sich aus der Addition der Punktzahlen der einzelnen Massnahmenbereiche. Der Betrieb bzw. die Bewirtschaftung erhält dabei theoretisch eine Punktzahl zwischen 0 und 100. Praktisch liegen die Werte zwischen etwa 20 und 85, da in der Realität nirgends bodenschützende Effekte der Bewirtschaftung fehlen, aber auch kein Betrieb das volle Massnahmenpotential ausschöpft. (Mosimann 1994)

- Im Oberbaselbiet ist die erosionsschützende Wirkung der Bewirtschaftung in der Bilanz seit 2002 unverändert. Auch über 20 Jahre hinweg ergibt sich kein grosser Wandel. Der regionale Unterschied hat sich jedoch vergrössert. Der Mittelwert der Massnahmenindizes liegt heute nahezu 60 % höher als im Unterbaselbiet. Der Hauptgrund dafür ist die andere Zusammensetzung der Fruchtfolgen (viel mehr Kunstwiesen, siehe Kap. 3.1). Der Index bildet also vor allem die Unterschiede beim Fruchtfolgefaktor ab.
- Im Unterbaselbiet gibt es neu einige Betriebe mit besonders tiefen Indizes (siehe unten). Betriebe mit eher ungünstigen Werten sind häufiger geworden. Als Folge der Spezialisierung gibt es in den letzten zehn Jahren bei der erosionsmindernden Wirkung der Bewirtschaftung eine Entwicklung „nach unten“. Hauptursache ist der höhere Anteil erosionsgefährdeter Kulturen.
- Im Laufener Becken hat sich die Situation verbessert. Die Zunahme der Indizes ergibt sich aus einer deutlichen bis starken Abnahme der C-Faktoren in drei von sieben beobachteten Betrieben. Wegen der geringen Zahl der erfassten Betriebe darf dieser Trend eines besseren Erosionsschutzes aber nicht verallgemeinert werden.

- Die Entwicklung ist im Einzelnen erwartungsgemäss vielfältig. Betrieben mit Verschlechterung des Erosionsschutzes stehen solche mit eindeutiger Verbesserung gegenüber. Die Zahl der Betriebe mit abnehmenden Indizes überwiegt jedoch (Abb. 17).

Wie in Kap. 4.1 erläutert, hat das Bewertungsverfahren zur Einstufung des Grades der erosionsmindernden Wirkung der Bewirtschaftung qualitativen Charakter. Nur grosse Unterschiede bei den Indizes bilden also eindeutige Veränderungen ab. Punkteunterschiede bis 10 liegen im Fehlerbereich und Punkteunterschiede bis 15 zeigen nur geringfügige Effekte an. In rund 70 % der Betriebe ergibt sich also bei der Gesamtwirkung des Erosionsschutzes wenig Veränderung. Dieser „Status quo“ kann aber durchaus mit Verbesserungen verbunden sein, wie sie in Kap. 3.2 bis 3.4 dargestellt wurden. In etwa 10 % der Betriebe hat sich der Erosionsschutz dagegen deutlich verbessert und in etwa 20 % deutlich verschlechtert. Die sechs Betriebe mit klar günstigerer Bewirtschaftung liegen alle im Oberbaselbiet und Laufener Becken. Die 12 Betriebe mit deutlichem Rückgang des Schutzes vor Erosion befinden sich überwiegend im Unterbaselbiet und vereinzelt im Laufental und Oberbaselbiet.

Gründe für deutlich verbesserten Erosionsschutz:

- Starke Abnahme der Fruchtfolgefaktoren (in 4 von 6 Betrieben). Zu den Verschiebungen beim Anteil der Kulturen siehe Kap. 3.1.3.
- Geringe Abnahme des C-Faktors (neu Mulchsaat von Getreide und Kunstwiese). Nur noch organische Düngung, bessere technische Ausrüstung der Geräte (Breitreifen), Hangteilung.
- Kaum veränderter C-Faktor. Mehr organische Düngung, Hangteilung.

Gründe für deutlich schlechteren Erosionsschutz:

- Starke Zunahme der Fruchtfolgefaktoren (in 7 von 12 Betrieben). Zu den Verschiebungen beim Anteil der Kulturen siehe Kap. 3.1.3.
- Mässige Zunahme des C-Faktors (z.B. durch Wegfall Kunstwiese und höhere Maisanteile). Zwischenfrüchte verbleiben nicht mehr, intensivere Bodenbearbeitung, fehlende besondere Schutzmassnahmen.
- Geringe Zunahme des C-Faktors. Ernterückstände verbleiben nicht mehr. Weniger Zufuhr organischer Substanz.

Die Hauptgründe für schlechteren Erosionsschutz sind also höhere Anteile erosionsgefährdeter Kulturen im konventionellen Anbau und geringere Zufuhr organischer Substanz (mit dem Risiko einer Verschlechterung der Bodenstabilität).

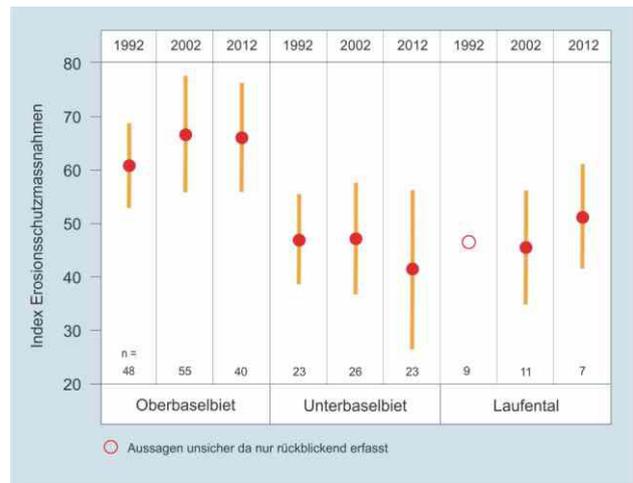


Abb. 16 Mittelwerte und Standardabweichungen der Indizes für die erosionsschützende Wirkung der Bewirtschaftung 1992-2012.

Die Medianwerte liegen nahe bei den Mittelwerten und sind deshalb nicht gesondert dargestellt.

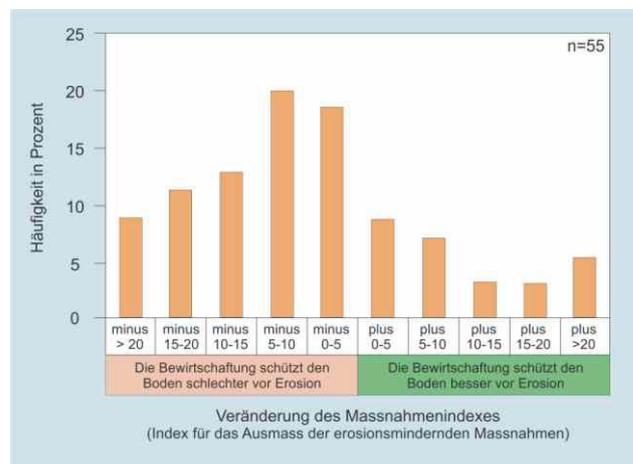


Abb. 17 Häufigkeitsverteilung der Veränderungen der Indizes für die erosionsschützende Wirkung der Bewirtschaftung seit 2002.

Eine deutliche Veränderung liegt bei einer Zu- oder Abnahme um mehr als 15 Punkte vor.

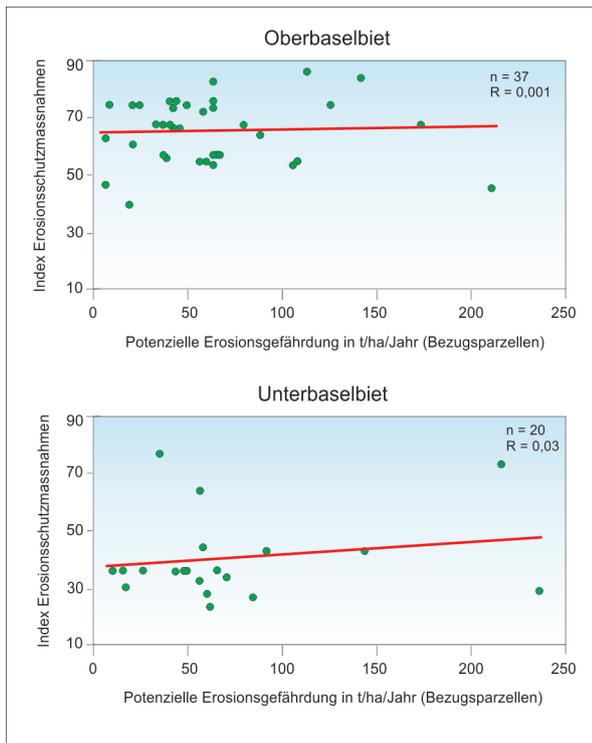


Abb. 18 Abhängigkeit des Schutzmassnahmenindex von der natürlichen Erosionsdisposition.

#### 4.2.2 Orientiert sich die Bewirtschaftung mehr an der standörtlichen Erosionsgefährdung?

Wie Abb. 9 zeigt, orientieren sich die Fruchtfolgefaktoren nicht an der standörtlichen Erosionsgefährdung (natürlichen Erosionsdisposition). Im inhaltlich breiter angelegten Massnahmenindex ist der C-Faktor mit einem Anteil von 60 % berücksichtigt. 20 % des Indexes hängen von allgemeineren Merkmalen der Bewirtschaftung ab, welche die Bodenerosion mitbeeinflussen, und weitere 20 % berücksichtigen Massnahmen zur Regulierung des Oberflächenabflusses. Der Massnahmenindex enthält also zu 80 % Elemente, die von Parzelle zu Parzelle unterschiedlich sein können. Deshalb kann er wie die Fruchtfolgefaktoren zur Erosionsdisposition der Bezugsparzellen in Beziehung gesetzt werden.

Es gibt wie schon beim Fruchtfolgefaktor keinen Zusammenhang zwischen dem Grad der erosionsmindernden Wirkung der Bewirtschaftung und der standörtlichen Erosionsgefährdung (Abb. 18). Hohe und niedrige Indizes kommen über das gesamte Spektrum der Erosionsdisposition vor. Dies hat sich seit 1992 nicht geändert. Das Erosionsmonitoring zeigt, dass in den letzten 20 Jahren einzelne Erosionsschutzmassnahmen eine grössere Verbreitung gefunden haben. Eine umfangreichere Anpassung der Bewirtschaftung an die Erosionsgefährdungssituation ist jedoch entweder nicht möglich oder wird nicht als notwendig eingestuft.

#### 4.3 Unterscheidet sich der Erosionsschutz in kleineren und grösseren Betrieben?

Indikator für den Erosionsschutz oder Einzelmassnahme	Grösse der ackerbaulichen Nutzfläche der Betriebe	
	<= 40 ha	> 40 ha
C-Faktor (Mittel)	0,11	0,20
Prozentanteil Kunstwiesen in der Fruchtfolge (Mittel)	50	27
Pfluglose Bodenbearbeitung generell (Prozentanteil)	23	20
Zwischenfrüchte (Prozentanteil)	30	90
Mulchsaat (Prozentanteil)	37	60
Fruchtfolgetrennung (Prozentanteil)	23	50
Massnahmenindex (Mittel)	59	41

Besserer Erosionsschutz  
Kein Unterschied

Tab. 4 Vergleich des Erosionsschutzes in kleineren und grösseren Betrieben: Mittelwerte und Prozentsatz der Anwendung von erosionsschützenden Bewirtschaftungsmassnahmen.

Je grösser die Ackerfläche, desto höher sind in der Tendenz die Fruchtfolgefaktoren (Abb. 7). Dies liegt daran, dass grössere Betriebe mit marktorientiertem Ackerbau meist mehr erosionsgefährdete Kulturen anbauen und weniger oder keine Kunstwiesen in der Fruchtfolge haben. Von der Zusammensetzung der Kulturen her ist also der Erosionsschutz in den grösseren Betrieben meist schlechter als in den kleineren. Es darf daraus jedoch nicht auf das Gesamtspektrum der erosionsmindernden Massnahmen geschlossen werden.

Von der Verteilung der C-Faktoren her ist es sinnvoll, für das Baselbiet die Grenze zwischen kleineren und grösseren Betrieben zur Zeit bei 40 ha Ackerfläche zu ziehen (siehe Abb. 7). Für diese beiden Gruppen lässt sich in der Folge der Prozentanteil der Betriebe, die bestimmte einzelne Erosionsschutzmassnahmen einsetzen, ermitteln. Dies ergibt ein deutlich differenzierteres Bild (Tab. 4).

Die C-Faktoren sind im Mittel in grösseren Betrieben fast doppelt so hoch als in kleineren. Da die Fruchtfolgefaktoren das höchste Gewicht im Massnahmenindex haben, weisen die kleineren Betriebe im Schnitt auch deutlich bessere Indizes auf (Tab. 4). Bei der Verbreitung der konservierenden Bodenbearbeitung gibt es jedoch keinen Unterschied. Wichtige Einzelelemente des Erosionsschutzes sind in grösseren Betrieben klar stärker verbreitet als in kleineren. Fast alle haben Zwischenfrüchte und mehr als die Hälfte Mulchsaaten. Abgesehen von den Kunstwiesen ist die Winterbedeckung in grösseren Betrieben also besser als in kleineren. Anpassungen der Fruchtfolge an das Gefälle (Fruchtfolge-trennung) lässt sich in grösseren Betrieben doppelt so häufig finden als in kleineren.

Fazit: Bedingt durch die Zusammensetzung der Kulturen ist die Erosionsgefährdung in grösseren Betrieben im Durchschnitt höher als in kleineren. Grössere Betriebe haben jedoch mehr konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat und passen ihre Fruchtfolgen auf einzelnen Parzellen eher an die örtliche Erosionsgefährdung an. Dies ist bei grösseren Bewirtschaftungsflächen natürlich auch flexibler möglich. Grössere Betriebe haben also ungünstigere C-Faktoren, sie wenden aber eher einzelne Bewirtschaftungsprinzipien an, die erosionsmindernd wirken.

## 5. Die Entwicklung der Erosionsgefährdung von 1992 bis 2012

### 5.1 Bemerkungen zur Berechnung der durchschnittlichen Abtragsmengen der Bezugspartellen

Die Berechnung der Erosionsgefährdung erfolgt standardmässig mit der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG/USLE) in ihrer aktuellen Form. Die Eingangsgrössen sind entsprechend dem Modell Erosion CH (Version V2.02) kalibriert (Mosimann & Rüttimann 2006). Das Modell berechnet die flächenhafte und flächenhaft-lineare Erosion und berücksichtigt dabei Fruchtfolgen (Haupt- und Zwischenkulturen), Winterbedeckung, Brachezustände, Mulchsaat, allgemeine Intensität der Bodenbearbeitung, Bearbeitungsrichtung, Gefälle, die sich aus der Parzellenlage und -grösse ergebende Länge der Fliessstrecke des Wassers (Hanglänge) und die erosive Wirkung der Regen. Nicht berechnen lassen sich dagegen die Effekte der mechanischen Belastung des Bodens, der Gefügestabilisierung durch die Zufuhr organischer Substanz und der Regulierung des Oberflächenabflusses.

Das Modell bildet also nicht alle Einflüsse auf die Bodenerosion ab. Es berechnet die mittlere Gefährdung

mit Standardwerten in Tonnen pro ha und Jahr. Regionale Korrekturfaktoren zur Vermeidung der Überschätzung sind berücksichtigt (Mosimann & Rüttimann 1996). Trotzdem weisen die absoluten Abtragsmengen Fehlergrenzen von mindestens 20-30 % auf und müssen vorsichtig interpretiert werden. Das Modell liefert vor allem Relation von Abtragsmengen für den Vergleich über die Zeit und für den Vergleich der Regionen. Damit ist es für das Monitoring geeignet.

Die Berechnungen mit der ABAG wurden seit 1992 in mehreren Schritten verfeinert. Hier muss der methodische Fortschritt berücksichtigt werden, obwohl in Vergleichen über längere Zeiträume Unschärfen entstehen. Die C-Faktoren berechnen sich heute nach einem differenzierteren Verfahren mit teilweise angepassten Werten für die Relativen Bodenabträge und einer genaueren Berücksichtigung des Langzeiteffektes von Kunstwiesen. Dies beeinflusst die Vergleiche mit den früher berechneten C-Faktoren. Die Auswertung ergab, dass vor allem die nach dem aktuellen Verfahren berechneten C-Faktoren für kunstwiesenarme Fruchtfolgen im Unterbaselbiet etwas höhere Werte als früher ergeben. Die für das Unterbaselbiet berechneten Abtragswerte sind deshalb im Vergleich zu früher berechneten Mengen überproportional hoch. Die Differenzen der mittleren Abträge im Vergleich zum Oberbaselbiet fallen also wohl etwas niedriger aus als berechnet.

Eine wichtige Fehlerquelle ist das Gefälle, welches im Modell das stärkste Gewicht hat. Das für die Erosion massgebende Gefälle der Bezugspartellen wird alle 10 Jahre neu gemessen. Bei der Veränderung von Parzellenformen und Grössen ergeben sich Differenzen. Zudem besteht Ermessensspielraum beim Festlegen der Messstrecke. Um Fehler in den Vergleichen durch unterschiedliche Gefällemessungen auszuschalten, wurden für die Darstellung der Entwicklung der Erosionsgefährdung die Abtragsmengen 2012 mit den Gefällewerten von 2002 berechnet.

Die Berechnungen der aktuellen Erosionsgefährdung berücksichtigen nebst dem flächenhaften Abtrag auch die lineare Erosion durch Zuschläge für Fremdwasserzufluss, Hangwasseraustritte und abflussbündelnde Tiefenlinien. Dieser Zuschlag wird nach dem Erosionsschlüssel bestimmt (Mosimann & Rüttimann 1995). Die Erosionsgefährdungsstufen (Abb. 21) ergeben sich aus der Verknüpfung von Abtragsmengen und Gründigkeit des Bodens aus dem Nomogramm im Erosionsschlüssel.



Abb. 19 Beispiele für Bezugspartellen des Erosionsmonitorings.

Lage, Grösse, Form, Gefälle und Bewirtschaftung der Bezugspartellen sind sehr unterschiedlich. Oben geringe, unten vergleichsweise hohe Erosionsgefährdung.

## 5.2 Die regional unterschiedlichen Trends bei der Entwicklung der geschätzten Abtragsmengen (Erosionsgefährdung gemäss ABAG)

### Oberbaselbiet

Unter Berücksichtigung der Fehlergrenzen hat sich die Erosionsgefährdung der Bezugspartellen seit 2002 nicht verändert (Abb. 20, Tab. 5). Die Mittelwerte liegen wie schon vor 10 Jahren höher als die Medianwerte. Grund dafür sind wenige Bezugspartellen mit im Vergleich zum relativ niedrigen Erosionsniveau hohen Abtragswerten. Das im Vergleich zu früher hohe Maximum stammt von einer steilen Parzelle (20 % Hangneigung) mit eher langer Fließstrecke für das Wasser und einer Fruchtfolge ohne Kunstwiesen. Auch über den Zeitraum von 20 Jahren zeigen die Abtragsmengen keine grossen Veränderungen. Bis 2002 gab es eine Abnahme der Gefährdung bedingt durch den Strukturwandel mit einer Zunahme der Kunstwiesen und Buntbrachen, der im Oberbaselbiet auch in der „grüner“ gewordenen

Landschaft sichtbar wird. Seit 2002 ist dieser Wandel nicht mehr so stark. Die Fruchtfolgefaktoren sind nahezu gleich geblieben. Die in der Tendenz etwas höheren Abtragsmengen im Vergleich zu 2002 können vor allem durch einige grösser gewordene Schläge mit höheren Hanglängen erklärt werden. Diesen stehen aber auch Fälle mit der Verkürzung von Fließstrecken durch Wiesenstreifen gegenüber. Insgesamt sind also die Änderungen in der erosionsrelevanten Bewirtschaftung und in den Feldstrukturen nicht gross. Das bedeutet für die Bodenerosion im Durchschnitt „Status quo“.

### Unteraselbiet

Die Erosionsgefährdung durch die Fruchtfolgen ist im Unteraselbiet deutlich gestiegen (Kap. 3.1.3). Erwartungsgemäss resultieren daraus höhere Abtragsmengen. Die Erosionsgefährdung stieg seit 2002 gemessen an den Mittelwerten um etwa 30 % an (Tab. 5). Der Trend ist somit eindeutig. Wegen des grossen Spektrums der Einzelwerte sind die Mittelwertsunterschiede

de allerdings statistisch nicht signifikant. Mittel- und Medianwerte liegen nahe beieinander. Die Zunahme bei den Medianwerten fällt höher aus, weil höhere Abtragsmengen durch die zum Teil stark gestiegenen C-Faktoren häufiger geworden sind. Dies zeigt sich deutlich an den Erosionsgefährdungsstufen der Bezugspartellen (Abb. 21). Hier gab es eine Verschiebung des Häufigkeitsmaximums von der Stufe 2 in die Stufe 3. Über den Zeitraum von 20 Jahren gesehen ist diese Zunahme der Erosionsgefährdung eine neue Entwicklung, denn von 1992 bis 2002 gab es auf den Unterbaselbieter Bezugspartellen im Durchschnitt keine Veränderung der Gefährdung. Die leichte Abnahme der Gefährdung bis 2002 (Abb. 20) liegt im Fehlerbereich der Schätzung. Hauptursache der deutlich angestiegenen Erosionsgefährdung ist die Spezialisierung mit einem Wegfall der Kunstwiesen und einem steigenden Anteil erosionsgefährdeter Kulturen. In zwei Drittel der beobachteten Betriebe haben die C-Faktoren deutlich zugenommen (siehe Kap. 3.1.3).

Die mittlere Erosionsgefährdung der Bezugspartellen im Unterbaselbiet ist nun mehr als doppelt so hoch als im Oberbaselbiet. Die Böden des Unterbaselbieter Hügellandes und des Jurarandes sind wegen der Lössvorkommen viel stärker erosionsgefährdet als die Oberbaselbieter Böden. Die Erosionsanfälligkeit von schluffreichen Böden aus Löss kann dreimal höher sein als die Anfälligkeit der lehmigen bis tonig-lehmigen und zum Teil steinhaltigen Böden im Tafeljura. Im Jura stehen dem aber mehr steile Partellen und eine häufigere

Gefährdung durch Fremdwasser und Hangwasserausstritte gegenüber. Mit Ausnahme der deutlich weniger gefährdeten Tafeljurahochflächen besteht deshalb gesamthaft kein grosser Unterschied der natürlichen Erosionsdisposition in den beiden Regionen (Mosimann 1994). Die erheblichen und seit 1992 grösser gewordenen Unterschiede der aktuellen Erosionsgefährdung im Unter- und Oberbaselbiet sind also eine Folge der unterschiedlichen Bewirtschaftung.

Bei der Verteilung der Gefährdungsklassen zeigen sich viel geringere regionale Unterschiede als bei den Abtragsmengen (Abb. 21). Im Unterbaselbiet ist zwar die Gefährdungstufe 3 wegen zum Teil stark gesteigener Abtragsmengen stärker vertreten. Die Gesamtanteile der Gefährdungsstufen 2 und 3 unterscheiden sich aber nicht stark. Dies liegt an der unterschiedlichen Gründigkeit der Böden. Auf den überwiegend flachgründigeren Böden im Oberbaselbiet besteht ein geringerer Spielraum der aktuell tolerierbaren Bodenabträge.

#### Laufental

Im Laufener Becken hat sich die Erosionsgefährdung der Bezugspartellen in den letzten 20 Jahren nicht messbar verändert. Die geringfügig höheren Werte im Jahr 2012 liegen im Fehlerbereich der Berechnungen. Diese Konstanz ergibt sich aus den weitgehend gleich gebliebenen Fruchtfolgefaktoren und der unveränderten Schlagstruktur. Die markanten Unterschiede zum Unterbaselbiet resultieren aus den niedrigeren C-Faktoren wegen der höheren Kunstwiesenanteile in

Region	Aktuelle Erosionsgefährdung in t/ha/Jahr											
	Mittel			Minimum			Median			Maximum		
	1992	2002	2012	1992	2002	2012	1992	2002	2012	1992	2002	2012
Kanton Basel-Landschaft	7,7	6,8	8,9	0,6	0,1	0,2	6,5	5,3	6,5	24,9	35,7	54,3
Oberbaselbiet	6,8	5,1	6,1	0,6	0,1	0,3	6,4	4,0	4,8	15,3	15,3	35,5
Unterbaselbiet	10,4	10,0	13,2	1,4	2,4	0,2	9,6	7,8	13,6	24,9	35,7	54,3
Laufental	5,5	6,6	8,0	1,7	2,8	0,9	5,1	4,7	5,5	13,5	20,6	29,1

Anzahl Bezugspartellen 2012: ganzer Kanton 77, Oberbaselbiet 41, Unterbaselbiet 28, Laufental 8.

Tab. 5 Entwicklung der aktuellen Erosionsgefährdung auf den beobachteten Bezugspartellen 1992 bis 2012.

Die Zahlen zeigen die Trends für die Bezugspartellen im Erosionsmonitoring. Diese repräsentieren Betriebe mit erosionsgefährdeten Flächen. Es handelt sich also nicht um Durchschnittswerte für die Region.

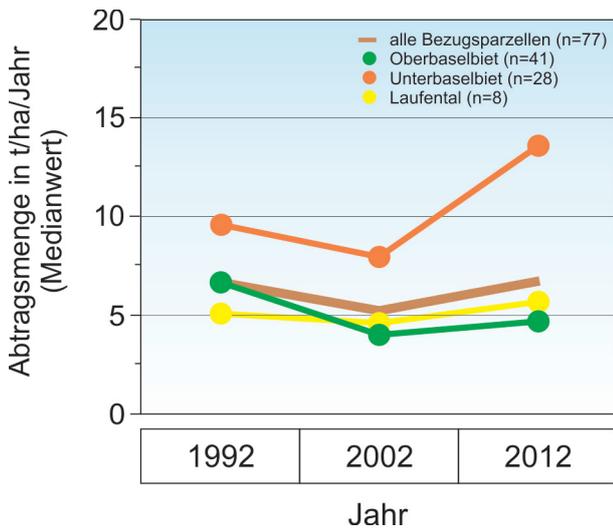


Abb. 20 Entwicklung der aktuellen Erosionsgefährdung im Kanton Basel-Landschaft 1992-2012: Medianwerte der Bezugsparzellen.

Anzahl Bezugsparzellen 1992 und 2002: siehe Tab. 1.

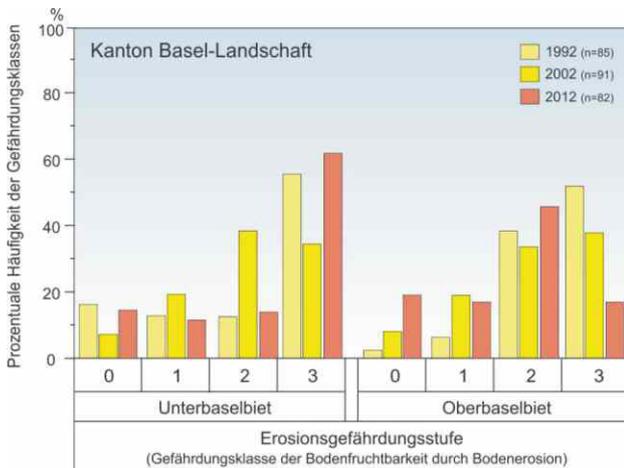


Abb. 21 Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch die Bodenerosion: Häufigkeiten der Gefährdungsstufen auf den Bezugsparzellen 1992-2012.

der Fruchtfolge. Zudem weisen die Bezugsparzellen im Laufener Becken im Durchschnitt ein etwas geringeres Gefälle auf als die Parzellen im Unterbaselbiet. Der geringe Unterschied zum Oberbaselbiet ergibt sich aus den etwas höheren C-Faktoren. Das Niveau der Abtragswerte ist aber ähnlich, weil einerseits im Laufental die Erosionsanfälligkeit der schluffreicheren Böden höher liegt, was aber andererseits vom im Durchschnitt höheren Gefälle der Bezugsparzellen im Oberbaselbiet kompensiert wird.

### 5.3 Die Ursachen veränderter Abtragsmengen

Eine Einzelanalyse der Berechnungsergebnisse legt die Faktoren offen, welche zu erhöhten oder verminderten Abtragsmengen geführt haben. Wegen der Fehlerspanne der Berechnungen werden dabei nur Bezugsparzellen mit Änderungen der durchschnittlichen Abtragsmengen um mehr als  $\pm 1$  t/ha/Jahr betrachtet. Dabei lässt sich überprüfen, wie häufig C-Faktoren, Hanglängen (Flieisstrecken des Oberflächenwassers) und veränderte Bearbeitungsrichtung alleine und in Kombination Ursache höherer oder geringerer Erosionsgefährdung sind (Abb. 22 und 23).

#### Ursachen erhöhter Abtragsmengen (Abb. 22)

Dominante Ursache sind höhere Fruchtfolgefaktoren. Auf fast allen Bezugsparzellen mit gestiegener Erosionsgefährdung resultieren die höheren Abtragsmengen aus dem höheren C-Faktor alleine oder aus der Kombination von höherer Gefährdung durch die Kulturen, grösserer Hanglänge und ungünstigerer Bearbeitungsrichtung. Ausser der Alleinursache „höherer C-Faktor“ ist vor allem das Zusammenwirken von Fruchtfolgefaktor und Hanglänge bedeutend. Die im Unterbaselbiet gestiegene Erosionsgefährdung ergibt sich also einerseits aus dem höheren Anteil erosionsgefährdeter Kulturen und andererseits aus einer Verkoppelung dieser Entwicklung mit grösser gewordenen Schlägen und teilweise damit verbundener Umstellung der Bearbeitungsrichtung zum Gefälle hin. Der Wandel bei den angebauten Kulturen geht also mit dem Wandel der Schlagstruktur einher, ist aber für erhöhte Abtragsmengen deutlich der wichtigste Faktor.

#### Ursachen verminderter Abtragsmengen (Abb. 23)

Verminderte Abtragsmengen haben viel häufiger als erhöhte Abtragsmengen mehrere Ursachen gleichzeitig. Es gibt keinen dominanten einzelnen Faktor. Veränderungen in der Schlag- und Hangstruktur sind für die Abnahme der Erosionsgefährdung jedoch bedeutend. In rund 80 % aller Fälle resultiert die geringere Erosionsgefährdung mindestens teilweise aus verkürzten Hanglängen. Die kürzeren Flieisstrecken ergeben sich dabei in den meisten Fällen nicht aus schmaleren Schlägen, sondern aus anderer Nutzung hangwärts (ökologische Ausgleichsflächen, Kunstwiesen) oder Wiesenstreifen. Günstigere C-Faktoren sind zwar auch eine wichtige Voraussetzung für verminderte Abtragsmengen, aber nur in wenigen Fällen alleine (Abb. 23). Auffallend häufig erscheint eine mehr hangparallele Bearbeitung als Mitursache geringerer Abtragsmengen. Mit fast 60 % der Fälle wird dieser Effekt aber überschätzt. Im Monitoring 2012 wurden offensichtlich Grenzfälle mit leicht schräg verlaufender Bearbeitungsrichtung häufiger als 2002 in die hangparallele Bewirtschaftung

eingeorordnet. Solche Abweichungen in der Systematik der Einstufung lassen sich in einem Langfristmonitoring mit unterschiedlichen Erhebungspersonen nicht vermeiden. Indirekt zeigt sich jedoch aus diesem Befund zur Bearbeitungsrichtung, dass die hangparallele Bearbeitung eine der Voraussetzungen für nach unten tendierende Abtragsmengen ist (siehe dazu Kap. 3.3.1).

#### Fazit

Die veränderte Zusammensetzung der Fruchtfolgen ist mit Abstand die häufigste Ursache erhöhter Abtragsmengen. Auch die Hälfte aller Fälle mit gesunkener Erosionsgefährdung begründet sich teilweise aus den angebauten Kulturen. Die Zusammensetzung der Kulturen ist Bestandteil des Strukturwandels und der Marktsituation und lässt sich unter dem Aspekt des Bodenschutzes nur auf einzelnen Schlägen verändern (Fruchtfolgetrennung). Umso wichtiger ist konservierende Bodenbearbeitung in erosionsgefährdeten Kulturen (v.a. Mais). Sie hätte den Anstieg der Erosionsgefährdung teilweise vermindern, jedoch nicht verhindern können. Dies geht nicht ohne Veränderungen in der Schlagstruktur. Die Ergebnisse zeigen gut, dass die Hanglänge, also die Verkürzung der Fliessstrecken, ein wichtiger Ansatzpunkt zur Senkung der Erosionsgefährdung im Baselbiet ist.

## 6. Bekanntheit und Nutzung der Erosionsgefährdungskarte BL

### 6.1 Allgemeines

In den Jahren 2009 und 2010 entstand die neue Erosionsgefährdungskarte des Kantons Basel-Landschaft. Diese ist im GIS-BL seit Januar 2011 öffentlich zugänglich ([www.geo.bl.ch](http://www.geo.bl.ch)). Die Karte stellt die aktuelle Erosionsgefährdung und den Gewässeranschluss der Ackerflächen dar. Die veröffentlichte Karte zeigt die wahrscheinlichste Gefährdungsstufe für jede Rasterfläche (Gefährdungsstufen 0-3). Behördenintern gibt es auch eine Karte mit den durchschnittlichen Abtragsmengen.

Es ist nicht im Einzelnen bekannt, welche Parzellen aktuell im Fruchtwechsel sind und welche Kulturen auf den einzelnen Parzellen angebaut werden. Die Karte arbeitet deshalb mit einem auf statistischer Wahrscheinlichkeit basierenden Ansatz (Mosimann & Bug 2010). Die mit grosser Wahrscheinlichkeit als Acker genutzten Flächen wurden mit einem GIS-Modell ermittelt. Die für die Berechnung massgebenden wahrscheinlichsten C-Faktoren verschiedener Gemeindegruppen (Abb. 4) ergeben sich aus den Anteilen der angebauten Kulturen und der in einer Expertenrunde festgelegten regi-

Prozentanteil der Bezugsparzellen (n=12)	Ursachen erhöhter Abtragsmengen		
	C-Faktor höher	Hanglänge grösser	Bearbeitungsrichtung stärker zum Gefälle
50			
25			
17			
8			
	92	42	33

Abb. 22 Ursachen erhöhter Abtragsmengen.

Prozentanteil der Bezugsparzellen (n=22)	Ursachen verminderter Abtragsmengen		
	C-Faktor tiefer	Hanglänge kürzer	Bearbeitungsrichtung mehr hangparallel
32			
23			
23			
14			
4			
4			
	54	82	59

Abb. 23 Ursachen verminderter Abtragsmengen.

onstypischen Bewirtschaftung.

Die neue Erosionsgefährdungskarte wurde mit einer Medieninformation der Bau- und Umweltschutzdirektion vom 31.01.2011 öffentlich bekannt gemacht. Aufgrund dieser Medieninformation sind folgende Darstellungen in Zeitungen und auf Online-Portalen erschienen:

- Grössere Zeitungsartikel in der Basel-Landschaftlichen Zeitung und Basler Zeitung.
- Kleine Artikel in den regionalen Anzeigern (i.d.R. Text der Medienmitteilung).
- Online-Artikel in der Basler Zeitung und Badischen Zeitung.
- Kurzinformationen auf Landwirtschaftsportalen (z.B. [www.schweizerbauer.ch](http://www.schweizerbauer.ch)).

Weitere Aktionen zur Bekanntmachung der Karte fanden nicht statt.

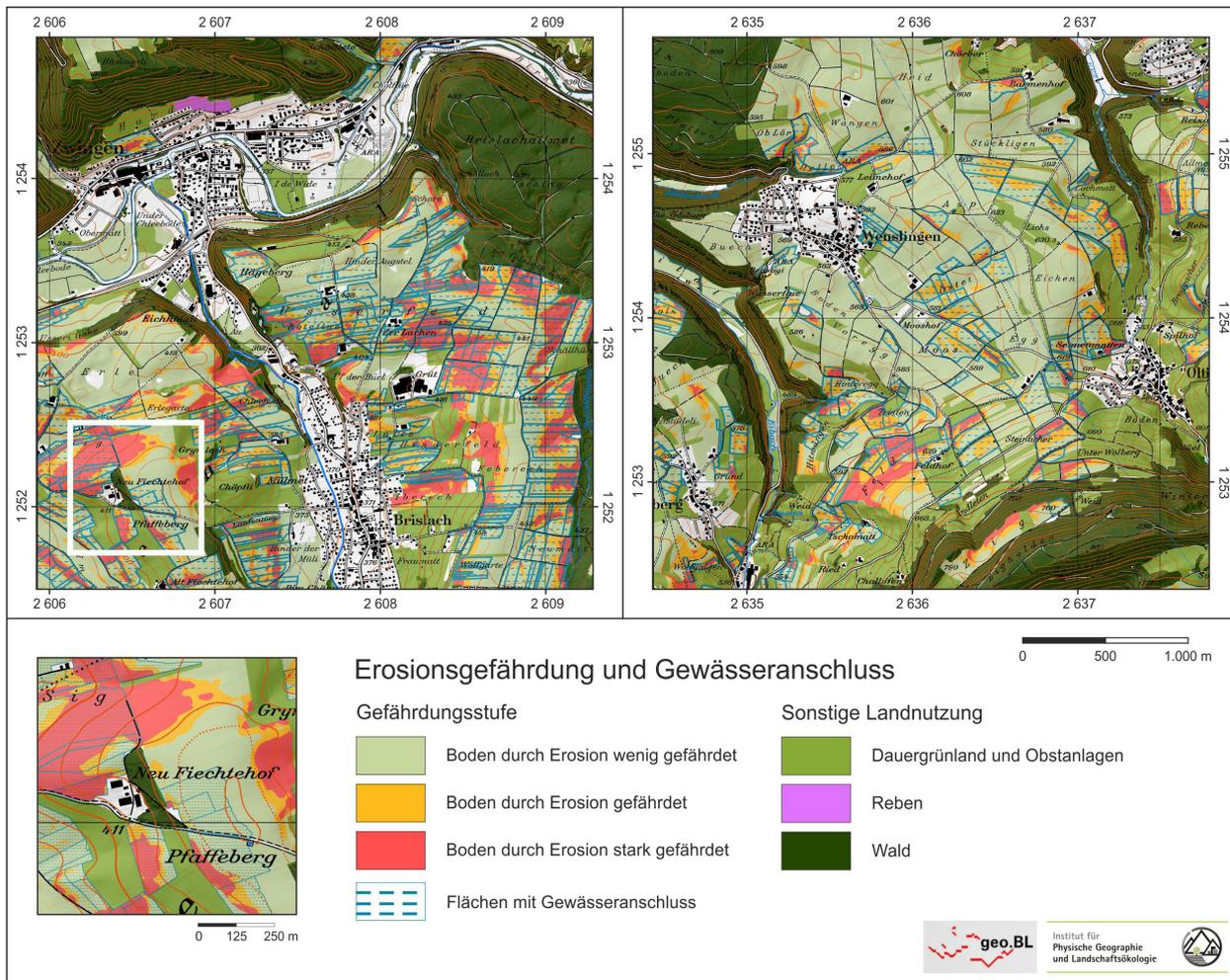


Abb. 24 Erosionsgefährdungskarte des Kantons Basel-Landschaft. Ausschnitt Brislach und Wenslingen.

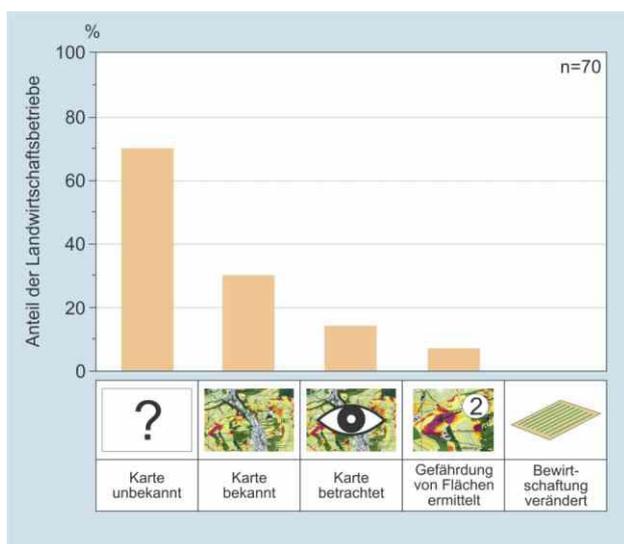


Abb. 25 Bekanntheit und Anwendungsstufen der Erosionsgefährdungskarte: Anteile aller befragten Betriebsleiter.

Im Rahmen der Interviews der Betriebe im Erosionsmonitoring wurde zuerst allgemein gefragt, ob den Betriebsleitern Unterlagen zur Bestimmung der Erosionsgefährdung von Ackerflächen bekannt sind. Der Ausschnitt der Karte für das Gebiet des Betriebes wurde erst vorgelegt, nachdem der Betriebsleiter die Karte selbst genannt hat oder klar war, dass er sie nicht kennt. Auf der Basis des Ausschnittes erfolgten dann die weiteren Fragen zum Grad der Kenntnis der Karteninhalte und der Anwendung der Karte.

## 6.2 Wie gut ist die Erosionsgefährdungskarte bekannt?

Abb. 25-29 stellen die Anteile der Betriebe für den Vergleich Karte bekannt/unbekannt und für die verschiedenen Anwendungsstufen der Karte dar. Abb. 25 gibt den Gesamtüberblick, die weiteren Graphiken differenzieren nach verschiedenen Betriebseigenschaften. Die Darstellungen sind keine Häufigkeitsverteilungen, sondern Reihen von Prozentanteilen der erfassten Betriebe, welche die jeweilige „Anwendungsstufe“ der Karte erreicht haben.

30 % der Betriebsleiter kannten die Karte ein Jahr nach deren Veröffentlichung im kantonalen GIS (Abb. 25). Dies ist eine erfreulich hohe Resonanz, denn die Karte wurde ausser in der Presse und auf Online-Portalen auf keinen sich direkt an die Landwirte richtenden Informationsveranstaltungen oder Schulungen bekannt gemacht oder eingeführt. Die Quote von 30 % übersteigt die bei neuen Instrumenten im Internet bei Landwirten normalerweise nach einem Jahr erreichten Reichweiten deutlich (mündl. Mitteilung LZE). Es besteht somit mindestens eine gute Grundlage im Hinblick auf die weitere Wahrnehmung und Nutzung der Karte.

Eine Untersuchung des Bekanntheitsgrades nach verschiedenen Merkmalen der Betriebe und Betriebsleiter ergibt differenzierte Ergebnisse, die auch Schlüsse im Hinblick auf eine breitere Einführung der Karte erlauben. Aus den Abb. 26-29 lassen sich folgende Tendenzen und Zusammenhänge erkennen:

- Die Unterschiede in der Wahrnehmung der Karte in reinen Ackerbaubetrieben und Mischbetrieben sind überraschend gross. In reinen Ackerbaubetrieben blieb die Karte bisher unbekannt (Abb. 26). Die kleine Zahl von acht Betrieben erlaubt keine verallgemeinerbaren Schlüsse. Es erstaunt jedoch, dass die Karte ausgerechnet in den Betrieben am wenigsten wahrgenommen wurde, die am ehesten mit Erosionsproblemen konfrontiert sind. Eine schlüssige Erklärung dafür fehlt.
- Je grösser der Betrieb, desto eher ist die Karte bekannt (Abb. 28). Indirekt geht daraus auch hervor, dass die Karte in grossen Mischbetrieben am ehesten bekannt wurde. Wachsende, vielfältig wirtschaftende Betriebe nehmen also neue Informationen und Grundlagen für die Bewirtschaftung offensichtlich besser wahr. Das Wachsen der Betriebe lässt sich also als Chance deuten, dass neue Instrumente zur umweltverträglichen Gestaltung der Bewirtschaftung besser und rascher erfasst werden.
- In Biobetrieben ist die Karte besser bekannt als in ÖLN-Betrieben (Abb. 27). Diese Tendenz ist aber

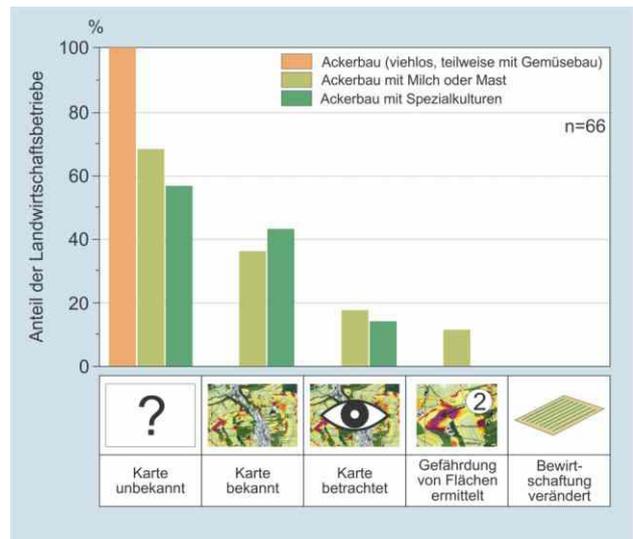


Abb. 26 Bekanntheit und Anwendungsstufen der Erosionsgefährdungskarte: Anteile nach Betriebs-typen.

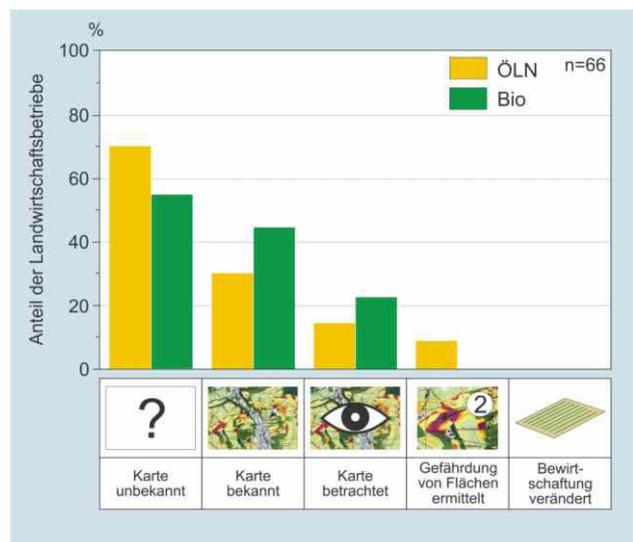


Abb. 27 Bekanntheit und Anwendungsstufen der Erosionsgefährdungskarte: Anteile ÖLN- und Bio-betriebe.

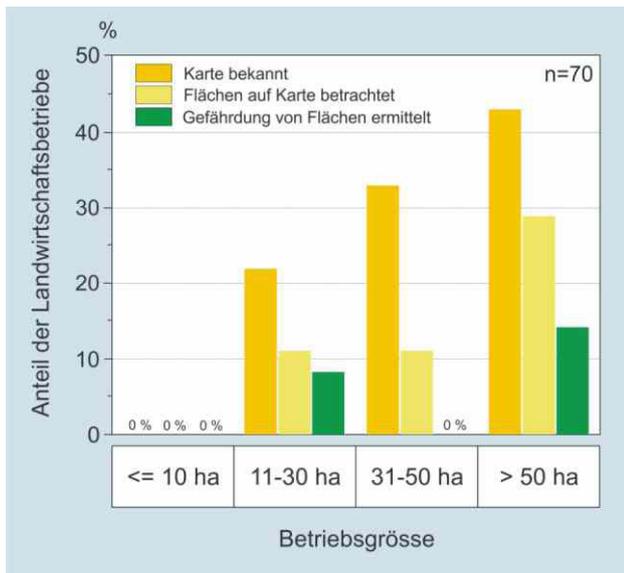


Abb. 28 Bekanntheit und Anwendungsstufen der Erosionsgefährdungskarte: Anteile in Abhängigkeit von der Grösse der Betriebe.

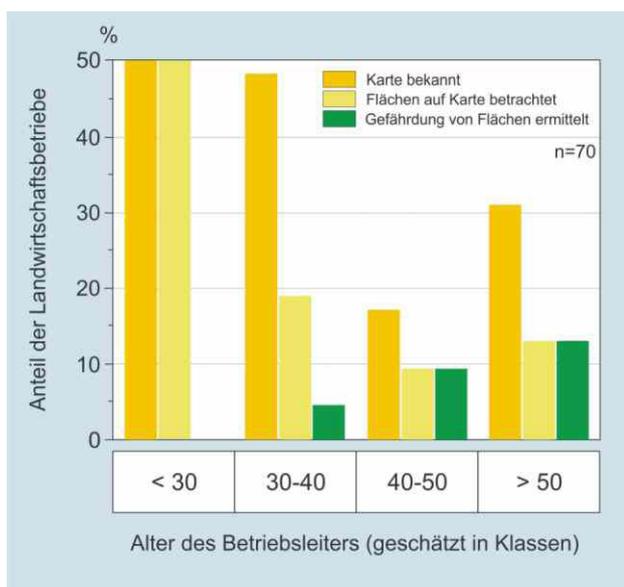


Abb. 29 Bekanntheit und Anwendungsstufen der Erosionsgefährdungskarte: Anteile in Abhängigkeit vom Alter des Betriebsleiters.

statistisch nicht gesichert, weshalb auch hier Verallgemeinerungen nicht zulässig sind. Eine gesonderte Betrachtung der ÖLN-Betriebe ergibt deutliche Unterschiede des Bekanntheitsgrades der Karte in Betrieben mit Vier-Kulturen-System und Anbaupausen. Bewirtschafter mit Vier-Kulturen-System kennen die Karte besser (35 %-Anteil) als die Übrigen (12 %-Anteil). Es deuten sich also Zusammenhänge an zwischen der Bewirtschaftungsweise und dem Kenntnisstand der Karte. So ist zum Beispiel die Karte auch in Betrieben, die Mulchsaattechniken einsetzen, besser bekannt als in Betrieben ohne konservierende Bodenbearbeitung.

- Jüngere Betriebsleiter haben die Karte viel eher wahrgenommen als ältere (Abb. 29). Hier sind die Unterschiede erstaunlich gross. Dies kann damit zusammenhängen, dass die jüngeren Betriebsleiter alle in der Ausbildung mindestens mit dem Thema Bodenerosion konfrontiert wurden. Bei der Durchführung der Interviews fiel auf, dass mehrere jüngere Betriebsleiter anlässlich der Befragung die Vorlagen zum Thema Bodenerosion aus ihren Unterlagen herausgesucht hatten. Die bessere Bekanntheit der Karte bei den jüngeren Landwirten eröffnet Perspektiven für die Berücksichtigung des Erosionsschutzes in der Bewirtschaftung.

Gesamthaft hat die Erosionsgefährdungskarte also innerhalb eines Jahres nach Erscheinen einen Bekanntheitsgrad erreicht, auf dem sich aufbauen lässt. Bei den Betrieben, in denen die Karte noch nicht bekannt ist, sind kleine Betriebe und Betriebe mit älteren Betriebsleitern überdurchschnittlich stark vertreten. Für die Zukunft kann also eine höhere Bekanntheit der Karte erwartet werden. Die fehlende Bekanntheit in den reinen Ackerbaubetrieben zeigt aber Lücken auf. Zur besseren und gezielteren Wahrnehmung der Karte sind also noch Massnahmen erforderlich (siehe Kap. 7, Pt. 7). Zudem ist die Situation bei der bisherigen Anwendung der Karte noch unbefriedigend.

### 6.3 Wie weit wurde die Erosionsgefährdungskarte bisher schon angewendet?

Die Befragung erfasste drei Stufen der Anwendung der Karte: „Karte betrachtet“, „Gefährdung von eigenen Flächen ermittelt“ und „Bewirtschaftung aufgrund hoher Gefährdung verändert“. Die drei Stufen geben damit den zunehmenden Anwendungsgrad wieder. Erwartungsgemäss nimmt die Zahl der Betriebe mit zunehmendem Anwendungsgrad stark ab. Eine direkte Veränderung der Bewirtschaftung einzelner Parzellen nach der Feststellung hoher Erosionsgefährdung auf der Karte gab es bisher nicht. Eine solch direkte Verbindung zwischen der Gefährdung und Schutzmassnah-

men auf einzelnen Flächen ist in der Praxis aber auch bisher selten. Für die Anwendung der Karte lassen sich im Weiteren aus Abb. 26-29 folgende Tendenzen erkennen:

- Die Zahl der Betriebe reduziert sich mit jedem Anwendungsschritt um etwa die Hälfte. Nur fünf bzw. 7 % aller Betriebe haben die Gefährdung einzelner Flächen ermittelt. Die Anwendung muss aber in Relation zur Zahl der Betriebsleiter, welche die Karte kennen, gesehen werden. Hier zeigt sich die erfreuliche Regel: Ist die Karte einmal bekannt, betrachtet die Hälfte der Betriebsleiter die eigenen Flächen und bestimmt etwa ein Viertel die Gefährdung einzelner Parzellen. Diese Regel gilt auch für einzelne Gruppen von Betrieben.
- Der Grad der Anwendung der Karte unterscheidet sich bei den Betriebstypen nicht wesentlich.
- Den höchsten Anwendungsgrad erreichen Betriebe mit über 50 ha Ackerfläche. Zwei von 14 Betrieben (14 %) haben hier die Erosionsgefährdung einzelner Parzellen bestimmt.
- Für das Alter der Betriebsleiter gilt: Jüngere Betriebsleiter kennen die Karte eher, aber Ältere haben bei Kenntnis der Karte eher die Erosionsgefährdung einzelner Flächen ermittelt.

Grundsätzlich liefert das Erosionsmonitoring nur eine Momentaufnahme zur Anwendung der Karte. Für eine verallgemeinerte Aussage zum Umgang mit solchen Karten ist die Stichprobe zu klein. Gleichwohl lässt sich erkennen, dass die Karte – so bald ihre Existenz bekannt ist – auch konsultiert wird und bei einem relevanten Anteil der Betriebsleiter auf Interesse stösst. Viele Aussagen während der Interviews weisen aber darauf hin, dass das Interesse nicht primär von der Erosionsgefährdung sondern in erster Linie vom Gewässerschutz her kommt. Es ist also die in der Karte „mitgelieferte“ Information zum Gewässeranschluss der Ackerflächen, welche die Landwirte in erster Linie interessiert. Dies lässt sich nachvollziehen, denn der Bezug zur Erfüllung der Bestimmungen des Gewässerschutzes ist vor allem kurzfristig viel enger als die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Dies muss man unter dem Gesichtspunkt der Bodenerosion nicht negativ sehen. Die von der Sache her begründete Verknüpfung von Erosionsschutz und Gewässerschutz in der Karte hat auch die Wahrnehmung der Karte begünstigt.

Gesamthaft gesehen ist der Anwendungsgrad der Karte noch gering. Die Empfehlungen für die Praxis schlagen deshalb Massnahmen vor, welche die breitere Anwendung der Karte begünstigen (Kap. 7, Punkt 2, 5, 7 und 8).

## 7. Empfehlungen für die Praxis

Die folgenden Empfehlungen für die Praxis leiten sich aus der regional unterschiedlichen Entwicklung und den bestimmenden Grössen der Erosionsgefährdung, aus dem Stand der Bewirtschaftung und ihrer Entwicklung sowie aus der Verbreitung erosionsmindernder Massnahmen und Lücken bei den Schutzmassnahmen ab. Die Empfehlungen berücksichtigen die Entwicklung der Agrarpolitik. Sie wurden am 06. März 2013 am Landwirtschaftlichen Zentrum Ebenrain diskutiert und abgestimmt.

### Bestehende Empfehlungen aus dem Erosionsmonitoring 2002

Einige Empfehlungen aus dem Monitoring vor 10 Jahren (Mosimann 2003) gelten weiterhin, weil die betreffenden Schutzmassnahmen noch immer zu wenig verbreitet sind oder vorhandene Erosionsprobleme nicht erkannt werden. Deshalb bilden die folgenden bereits 2003 formulierten Punkte auch Bestandteil der neuen Empfehlungen:

- Einzelmassnahme Mulchsaat in Mais.
- Einzelmassnahme Fruchtfolgetrennung.
- ÖLN-Kontrolleure für Bodenerosion sensibilisieren.

### Neue Empfehlungen aus dem Monitoring 2012

Die treibenden und bremsenden Faktoren der von der Bewirtschaftung abhängigen Bodenerosion sind Betriebstypen, Anteil der Kulturen, Anteil konservierender Bodenbearbeitung in erosionsanfälligen Kulturen und Schlaggrössen. Ein wichtiger Treiber sind die strukturellen Bedingungen und Veränderungen, die im Unterbaselbiet und Laufener Becken in eine andere Richtung laufen als im Oberbaselbiet. Im Oberbaselbiet hat die Erosionsgefährdung in den letzten 30 Jahren insgesamt abgenommen und sich in den letzten 10 Jahren auf eher niedrigem Niveau im Mittel nicht verändert. Für das Unterbaselbiet zeigt das Monitoring dagegen einen bewirtschaftungsbedingten Anstieg der von den Böden her ohnehin höheren Erosionsgefährdung. Die Anstrengungen für eine Verbesserung des Erosionsschutzes können deshalb in den nächsten Jahren zum grossen Teil auf Betriebe im Unterbaselbiet und Laufener Becken fokussiert werden. Gleichwohl gelten die folgenden Empfehlungen auch für einzelne Betriebe im Oberbaselbiet, besonders Betriebe mit mehr als 40 ha Ackerfläche und/oder mehr als 20 % Mais.

1. Der Erosionsschutz ist in grossen Ackerbaubetrieben nicht generell, aber mehrheitlich schlechter als in kleineren Betrieben. Dies liegt an der Zusammensetzung der Fruchtfolgen, den zum Teil grösseren

Parzellen bei teilweise erheblichem Gefälle und der ungenügenden Verbreitung der Mulchsaat in erosionsanfälligen Kulturen. Mit dem Wachsen der Betriebe besteht ein grösserer Bedarf an Beratung im Bereich des Bodenerosionsschutzes. Mögliche Probleme bestehen vor allem in Betrieben mit mehr als 40 ha Fläche und mehr als 30 % Mais plus Soja, Kartoffeln und/oder Gemüse in der Fruchtfolge. Es wird angestrebt solchen Betrieben auf Wunsch eine Problemanalyse und Beratung zu vermitteln und die Ergebnisse einzelner Betriebe im Sinne von Pilotbeispielen bekannt zu machen.

2. Erosionsschutz ist Bestandteil des ÖLN Bodenschutzes (KIP 2008). Die Richtlinien verlangen das Erstellen eines Massnahmenplanes, wenn wiederholt Erosion auf einer Parzelle auftritt. Diese Bestimmung erfasst das Problem unvollständig, weil sie sich zu stark auf die lineare Erosion fokussiert und zu wenig an der vorhandenen Gefährdung ganzer Parzellen bzw. Schläge orientiert. Etwa 20 % der Ackerflächen im Kanton Basel-Landschaft sind durch Erosion gefährdet und etwa 10 % stark gefährdet (Gefährdungsstufe 3 gemäss Erosionsgefährdungskarte). Es gibt zudem Problemschwerpunkte. Im Monitoring wurden zum Beispiel einzelne Parzellen mit 40-50 % Anteil erosionsanfälliger Kulturen (z.B. Mais plus Kartoffeln) gefunden. Die ÖLN-Kontrolleure sollten im Rahmen einer der nächsten Schulungen für die spezifische Problemlage der Bodenerosion im Baselbiet und die „Hotspots“ sensibilisiert werden. Es geht darum, einzelne Betriebe mit Erosionsproblemen unabhängig von der unklaren Bedingung „Erosion wiederholt festgestellt“ zu erkennen. Diese Schulung soll vor allem vermitteln: Wo und in welchen Betrieben bestehen am ehesten Erosionsprobleme; welche ungünstigen Entwicklungen gibt es; wie kann die Erosionsgefährdungskarte genutzt werden zum Erkennen von Betrieben mit möglichen Problemen.
3. Das Monitoring hat 26 Betriebe mit Einsatz von Mulchsaaten ermittelt. Dies entspricht 37 % der befragten Betriebe. Fast 90 % der Mulchsaaten sind Getreide und Kunstwiesen. Nur vier Betriebe praktizieren Mulchsaat von Mais. Im Mais ist sie aber besonders wirksam und deshalb besonders wichtig. Im Rahmen eines „Feldtages“ für die in Punkt 1 umrissene Bewirtschafterguppe sollte die konservierende Bewirtschaftungstechnik, insbesondere die Mulchsaat in Mais (wieder einmal) vorgeführt und diskutiert werden.
4. Fruchtfolgetrennung und Schlagteilung kommen als besondere Schutzmassnahmen häufiger vor als vor zehn Jahren. Ihr Potenzial ist aber noch nicht

ausgeschöpft. Es ist deshalb sinnvoll, diese für die Bewirtschaftung oft wenig einschneidende Massnahme besser bekannt zu machen. Es soll eine Schulungsunterlage in Form einer kurzen Praxisanleitung erstellt werden. Diese soll an ausgewählten Beispielen aus dem Baselbiet anschaulich zeigen, wie durch Fruchtfolgetrennung, Schlagteilung und Hangteilung durch ökologische Ausgleichsflächen die Erosion vermindert werden kann.

5. In Betrieben mit einem relevanten Anteil an Flächen mit Gefährdungsstufe 2 und 3 gemäss Erosionsgefährdungskarte sollten die ökologischen Ausgleichsflächen vermehrt zur Teilung von Hängen bzw. Schlägen eingesetzt werden.
6. Risiko der Bodenverdichtung und dadurch verstärkter Erosion: Die Traktorengewichte und Achslasten der Geräte nehmen stetig zu. Nur etwa ein Fünftel der Betriebe hat jedoch in den letzten 10 Jahre neue technische Massnahmen zur Verringerung der mechanischen Belastung ergriffen. Das Monitoring kann keine Aussagen darüber treffen, wie weit die schwereren Geräte technisch optimal zur Minimierung der Bodendrucke ausgestattet sind. Der geringe Anteil der Betriebe mit neuen technischen Massnahmen zur Minimierung von Strukturschäden weist jedoch auf eine Lücke hin. Es sollte überlegt werden, wie solche technische Massnahmen besser bekannt gemacht werden können.
7. Drei von zehn Betriebsleitern kennen bisher die Erosionsgefährdungskarte. Dies ist ein Jahr nach ihrer Freischaltung im GIS-BL erfreulich. Das Monitoring zeigt, dass von den Betriebsleitern, welche die Karte kennen, fast die Hälfte ihre Betriebsflächen betrachtet und rund ein Viertel auch die Gefährdung einzelner Parzellen oder Schläge ermittelt haben. Die Karte sollte also noch besser bekannt gemacht werden. Dafür sind zwei Wege vorgesehen:
  - Einführung der ÖLN-Kontrolleure im Rahmen einer der nächsten Schulungen (siehe Pkt. 2).
  - Hinweis auf die Karte im Rahmen von Informationsveranstaltungen zur neuen Agrarpolitik: Verwendung als Grundlage zum Erkennen besonders wichtiger Flächen zur Förderung bodenschonender Bewirtschaftungssysteme über neue Direktzahlungen.
8. Neue Agrarpolitik 2014 zur besseren Verbreitung der konservierenden Bodenbearbeitung nutzen. Das LZE weist Betriebe mit möglichen Erosionsproblemen gezielt auf die neue Möglichkeit von Direktzahlungen für bodenschonende Bewirtschaftungssysteme im Rahmen der Agrarpolitik 2014/17 hin. Anhaltspunkte liefern die in Punkt 1 genannten Kriterien und die Erosionsgefährdungskarte.

## 8. Literatur

- Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft [Hrsg.] (1995): Bodenüberwachung im Kanton Basel-Landschaft. Ziele - Konzeptioneller Ansatz - Realisierung. Liestal, 49 S.
- Auerswald, K. (1992): Verfeinerte Bewertung von Erosionsschutzmassnahmen unter deutschen Anbaubedingungen mit dem P-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG). In: Z. f. Kulturtechnik u. Landentwicklung, 33, S. 137-144
- Auerswald, K. & M. Kainz (1998): Erosionsgefährdung (C-Faktor) durch. In: Bodenschutz 3, H. 3, S. 98-102
- Brunotte, J. (2007): Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run off und Mykotoxinbildung im Getreide. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 305, Braunschweig, 157 S.
- Brunotte, J. & N. Fröba (2007): Schlaggestaltung – kostensenkend und bodenschonend. KTBL-Schrift 460, Darmstadt, 178 S.
- Brunotte, J. & C. Sommer (1998): Die Mulchsaat macht's. Kosten senken, Boden verbessern, mehr ernten. Institut für Betriebstechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode, 64 S.
- Brunner, J. et al. (1997): Kartieranleitung. Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz und Liebefeld-Bern
- Buchner, W. & K. Köller (1990): Integrierte Bodenbearbeitung. Stuttgart, 126 S.
- Bug, J. & T. Mosimann (2012): Lineare Erosion in Niedersachsen – Ergebnisse einer elfjährigen Messreihe zu Ausmass, kleinräumiger Verbreitung und Ursachen des Bodenabtrages. Die Bodenkultur 63, H. 2-3, S. 63-75
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und aid Infodienst [Hrsg.] (2013): Gute fachliche Praxis. Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. Bonn, 111 S.
- Jossi, W. et al. (2011): Reduzierte Bodenbearbeitung schont die Regenwürmer. In: Agrarforschung Schweiz 2, H. 10, S. 432-439
- Koordinationsgruppe Richtlinien Tessin und Deutschschweiz KIP [Hrsg.] (2008): KIP-Richtlinien für den ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN), BTS und RAUS. Lindau, 46 S.
- KTBL-Arbeitsgruppe „Bodenbearbeitung und Bestellung“ (1993): Definition und Einordnung von Verfahren der Bodenbearbeitung und Bestellung. = KTBL Arbeitsblatt Nr. 0236, Münster
- Lebert, M., J. Brunotte, C. Sommer & H. Böken (2006): Bodengefüge gegen Verdichtungen schützen – Lösungsansätze für den Schutz landwirtschaftlich genutzter Böden. In: J. Plant Nutr. Soil Sci. 169, S. 633-641
- Maltas, A. et al. (2012): Langfristige Wirkung von organischen Düngern auf die Bodeneigenschaften. In: Agrarforschung Schweiz 3, H. 3, S. 148-155
- Morgan, R.C.P. (2005): Soil Erosion and Conservation. Oxford, 304 S.
- Mosimann, T. & J. Bug (2010): Erosionsgefährdungskarte und Karte des Gewässeranschlusses von Ackerflächen für den Kanton Basel-Landschaft. Modelldokumentation. Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie der Leibniz Universität Hannover, Hannover, 55 S. (unveröffentlicht)
- Mosimann, T., J. Bug, S. Sanders & F. Beisiegel (2009): Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen 2000-2008. Geosynthesis 14, Hannover, 97 S.
- Mosimann, T. (2008): Mehr machen als Mulchsaat. In: dlz-agrarmagazin 59, H. 4, S. 56-62
- Mosimann, T. (2008): Wie gut wirken Erosionsschutzmassnahmen, und was kann der Erosionsschutz noch erreichen? In: FNL [Hrsg.] Heft 15/2008: Strategien zum Bodenschutz – Sachstand und Handlungsbedarf, Bonn, S. 155-169
- Mosimann, T. & M. Rüttimann (2006): Berechnungsgrundlagen zum Fruchtfolgefaktor zentrales Mittelland 2005 im Modell Erosion CH (Version V2.02). Dokumentation unveröffentlicht, Bubendorf (Terragon Ecoexperts)
- Mosimann, T. (2003): Erosionsgefährdung und Schutz der Böden durch die Bewirtschaftung. Monitoring 1982-2002. Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft [Hrsg.], Liestal, 32 S.
- Mosimann, T., R. Bono & P. Simon (2003): Besserer Erosionsschutz durch ökologischen Leistungsnachweis? In: Agrarforschung 10, H.11-12, S. 428-433
- Mosimann, T. (1998): Bodenerosion im Bodenschutzvollzug. In: Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems, hrsg. v. G. Richter, Darmstadt, S. 171-184
- Mosimann, T. & M. Rüttimann (1996): Abschätzung der Bodenerosion und Beurteilung der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit. Grundlagen zum Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. Liestal, 40 S.
- Mosimann, T. & M. Rüttimann (1995): Bodenerosion selber Abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. Volkswirtschafts- und Sanitätsdirektion des Kantons Basel-Landschaft [Hrsg.], 17 S.
- Mosimann, Th. (1994): Bodenerosion im Kanton Basel-Landschaft. Aktueller Stand, Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, Thesen zur Erhaltung der Böden, weiteres Vorgehen. Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft [Hrsg.], Liestal, 31 S.

Mosimann, T. et al. (1991): Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten. Ein Leitfaden für die Bodenerhaltung. Themenbericht des Nationalen Forschungsprogrammes 'Nutzung des Bodens in der Schweiz', Liebefeld-Bern, 187 S.

Prasuhn, V. (2011): Soil erosion in the Swiss midlands: Results of a 10-year field survey. In: *Geomorphology* 126, S. 32-41

Prasuhn, V. & K. Grünig (2001): Evaluation der Ökomassnahmen Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. = Schriftenreihe der FAL, Nr. 37, Zürich-Reckenholz, 152 S.

Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool & D.C. Yoder (1997): *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Washington, 384 S.

Rüttimann, M. & T. Mosimann (1999): Erosionsschutz im Landwirtschaftsbetrieb. Gefährdungsschätzung und Entwicklung von Massnahmenplänen am Beispiel von drei Fallstudien im Kanton Basel-Landschaft. *Vollzug Umwelt, Praxishilfe*. Bundesamt für Umwelt, Wald, und Landschaft [Hrsg.], Bern, 150 S.

Salm, C. & S. Häusler (1997): *Bodenverträglichkeit von Landmaschinen. Erarbeitung und Anwendung eines Kriterienkatalogs*. Liestal, Zollikofen und Solothurn, 26 S.

Schwertmann, U. et al. (1990): *Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmassnahmen*. Stuttgart, 62 S.

Sturny, W.G. (1993): *Bodenbearbeitung, eine umfassende Übersicht*. *Landwirtschaft Schweiz* Band 6 (3), S. 153-168

Tobias, S. (2001): *Vorsicht beim Befahren feuchter Böden: Bleibende Setzungen drohen!* In: *Agrarforschung* 8(2), S. 66-71