

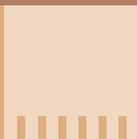


Bau- und Umweltschutzdirektion  
Kanton Basel-Landschaft

**Amt für Umweltschutz und Energie**

# Erosionsgefährdung und Schutz der Böden durch die Bewirtschaftung

## Monitoring 1982-2002



Liestal 2003

**Herausgeber**

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

**Autor**

Prof. Dr. Thomas Mosimann  
Geografisches Institut der Universität Hannover  
und Terragon Ecoexperts AG  
Gstaltenstr. 36  
4416 Bubendorf

unter Mitarbeit von Barbara Mosimann-Baumgartner,  
Kathrin Friedrich, Katrin Asmussen, Miriam Lähns

**Projektleitung AUE**

Dr. Roland Bono, Fachstelle Bodenschutz

**Internet**

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

**Bezug**

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

**Titelbild**

Direktsaaten bieten guten Erosionsschutz.  
Beispiel: Mais-Streifenfrässaat in Weissklee; Biobetrieb in Seedorf, BE.

**Liestal, 2003**

**Erosionsgefährdung und Schutz der  
Böden durch die Bewirtschaftung im  
Kanton Basel-Landschaft**

**Entwicklungstrends aus dem Monitoring  
1982 - 2002 und Folgerungen  
für die Beratung**

Thomas Mosimann

Unter Mitarbeit von Barbara Mosimann-Baumgartner,  
Kathrin Friedrich, Katrin Asmussen und Miriam Lähns

Liestal 2003

## **Vorwort**

Wir haben uns Zeit genommen. Zeit, um die Entwicklungen der letzten 20 Jahre in der Bodenbewirtschaftung zu erfassen, zu analysieren und in ihren Auswirkungen auf die Böden zu beurteilen. Erosion ist das Stichwort - also das Abschwemmen fruchtbarer Ackerkrume. Es interessierte uns, ob die Böden durch die Ökologisierung in der Landwirtschaft heute besser vor Erosion geschützt sind. Aus den Erkenntnissen wollen wir Lehren ziehen für einen noch sorgfältigeren Umgang mit den Böden.

Was sind schon 20 Jahre im Leben eines Bodens? Der Boden rechnet mit Jahrtausenden. Ganz anders wir Menschen. Für uns sind oft Stunden oder gar Bruchteile davon wichtig. Derart unterschiedliche Zyklen können Folgen haben. Was in Tausenden von Jahre natürlich gewachsen ist, kann durch Menschenhand in kurzer Zeit zerstört werden. Wer Boden bewirtschaftet, muss diese Gefahr kennen und sein Handeln darauf ausrichten.

Das langfristige Monitoring der Bodenbewirtschaftung hat gezeigt, dass nach wie vor Handlungsbedarf zur Vermeidung von Erosion besteht. Dies gilt vor allem für das Unterbaselbiet und das Laufental. Als Ansatzpunkte haben wir gemeinsam mit dem Landwirtschaftlichen Zentrum Ebenrain identifiziert: Betriebliche Massnahmen auf die besonders gefährdeten Parzellen fokussieren, erprobte Schutzmassnahmen auf viel mehr Flächen nutzen sowie moderne Techniken zur Bodenbearbeitung wie Mulchsaat vermehrt einsetzen. Weiter stellen wir fest, dass sich die bisher verlangten betrieblichen Massnahmen zum ökologischen Leistungsnachweis im Gesamteffekt kaum erosionsmindernd auswirken.

Deutlich weniger Erosionsprobleme zeigt das Oberbaselbiet. Hier hat die agrarpolitisch initiierte, generelle Extensivierung zu einer Verringerung der Erosion geführt - eine erwünschte Nebenwirkung.

Wo immer betroffene Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter ansetzen im Bemühen um die Verringerung der Bodenerosion: wirksame Massnahmen brauchen Zeit!

**Amt für Umweltschutz und Energie**

Dr. Alberto Isenburg, Amtsleiter

## Inhaltsverzeichnis

<b>Das Wichtigste in Kürze</b>	4
<b>1. Bewirtschaftungsbeobachtung unter dem Aspekt des Bodenerosionsschutzes - Ausgangspunkt und Ziele</b>	7
<b>2. Methodisches Vorgehen</b>	8
2.1 Methodische Konzeption dieser Langzeituntersuchung	8
2.2 Die Betriebsbefragung 2002	8
2.3 Informationen zur Stichprobe	9
2.4 Auswertungsmethoden	10
<b>3. Gefährdung und Schutz des Bodens durch die Bewirtschaftung - die Entwicklung der einzelnen Faktoren und Wirkungsbereiche</b>	10
3.1 Der Wirkungsbereich Fruchtfolgen und Winterbedeckung	10
3.1.1 Der C-Faktor als Indikator für die Fruchtfolgewirkung auf die Erosion	10
3.1.2 Die Entwicklung der Fruchtfolgefaktoren seit 1982	11
3.1.3 Was hat sich in den Fruchtfolgen verändert?	12
3.1.4 Orientieren sich die Fruchtfolgen an der natürlichen Erosionsdisposition?	14
3.1.5 Die Entwicklung der Winterbedeckung	15
3.2 Der Wirkungsbereich Bodenbearbeitung und Bodenstabilisierung	17
3.2.1 Bodenbearbeitungssysteme und konservierende Bodenbearbeitung	17
3.2.2 Entwicklung der Indikatoren der mechanischen Beanspruchung des Bodens	19
3.2.3 Verbesserung der Bodenstabilität durch Zufuhr organischer Substanz	21
3.2.4 Hangparallele Bearbeitung	21
3.3 Der Faktor Abflussregulierung	22
<b>4. Minderung der Bodenerosion durch die Bewirtschaftung - der Gesamttrend</b>	24
4.1 Der Index für die erosionsschützende Wirkung der Bewirtschaftung	24
4.2 Wie haben sich die Massnahmenindizes gesamthaft entwickelt?	24
4.3 Orientiert sich die Bewirtschaftung besser an der Erosionsdisposition?	26
<b>5. Die Entwicklung der Erosionsgefährdung seit 1992</b>	27
5.1 Der Trend bei der aktuellen Erosionsgefährdung (Tab. 3)	27
5.2 Der Trend bei den Gefährdungsklassen der Bodenfruchtbarkeit	29
<b>6. Folgerungen für den Bodenschutz und die Beratung</b>	29
6.1 Der Problemstand Bodenerosion: Welche Schlüsse lässt das Monitoring 2002 zu?	29
6.2 Folgerungen für die Beratung	30
<b>7. Literatur</b>	31

## Das Wichtigste in Kürze

### Monitoring der Erosion

Die Umweltschutzgesetzgebung verpflichtet den Kanton zur Überwachung von Bodenbelastungen. Damit soll sichergestellt werden, dass die Böden langfristig gesund bleiben. Viele Bodenbelastungen - so auch die Erosion - sind schleichend. Sie haben oft erst über Jahrzehnte hinweg negative Auswirkungen. Umso sorgfältiger sind Bodenbelastungen und die sie steuernden Rahmenbedingungen zu überwachen.

Erosion ist eine unerwünschte Begleiterscheinung des Ackerbaus. Nebst natürlichen Faktoren wie Bodeneigenschaften, Relief oder Niederschlag bestimmt die Art und Weise der Bewirtschaftung massgeblich das Ausmass der Erosion. Die Bewirtschaftung ist mitentscheidend für eine nachhaltige Nutzung oder Schädigung oder gar Zerstörung des Bodens.

Die vorliegende Studie analysiert Veränderungen in der Bewirtschaftung im Zeitraum 1992 - 2002 und schätzt deren Folgen für das Erosionsrisiko ab. Als langfristig angelegtes Monitoring ist sie Teil der kantonalen Bodenüberwachung. Sie basiert auf einer detaillierten Erfassung der Bewirtschaftung und der Erosionsgefährdung in 76 Betrieben im Kanton Basel-Landschaft (9 % aller Betriebe mit mehr als 10 ha). Dieses Monitoring wurde 1992 gestartet und nun 2002 wiederholt.

### Erosionsrelevante Trends der Bewirtschaftung 1992-2002

- Die Erosionsgefährdung durch die Fruchtfolgen hat im Oberbaselbiet um etwa 20 % abgenommen, während sie im Unterbaselbiet unverändert geblieben ist. Die Verbesserung im Oberbaselbiet ist auf den gesteigerten Anteil von Kunstwiese und Buntbrache an Stelle von Mais und Wintergetreide zurückzuführen. Die Erosionsgefährdung durch die Fruchtfolgen ist im oberen Kantonsteil jetzt halb so gross wie im Unterbaselbiet.

- Heute wenden 10% aller Betriebe Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung an. Mulchsaat in Betrieben mit Maisanbau hat von 3% auf 15% zugenommen. Die Entwicklung hin zu einer extensiveren Bodenbearbeitung beschränkt sich jedoch auf Betriebe, die schon 1992 den Boden vergleichsweise extensiver bearbeiteten.
- Die mechanische Belastung des Bodens ist stark gestiegen. Die mittleren Achslasten der heute eingesetzten Maschinen sind rund 40% höher als vor 10 Jahren. Es besteht die Gefahr erhöhten Oberflächenabflusses durch zunehmende Verdichtung.
- In vielen Betrieben verbessern zusätzlich verbleibende Ernterückstände und höhere Kunstwiesenanteile die Bodenstabilität. Insgesamt wurde jedoch die höhere mechanische Belastung nicht durch bodenstabilisierende Massnahmen kompensiert.
- Die Bodenbedeckung im Winter ist etwas besser geworden. Nebst der Ausweitung von Kunstwiesen und Buntbrachen ist dafür der Trend von abfrierenden zu winterharten Zwischenfrüchten verantwortlich.
- Der Austritt von Hangwasser oder der Zufluss von Fremdwasser (z.B. über Feldwege) verursacht verbreitet Rinnenerosion. Dennoch gibt es heute nicht mehr abflussregulierende Massnahmen als 1992.
- Gesamthaft und im Durchschnitt gesehen wirkt die Bewirtschaftung etwas stärker erosionsmindernd als vor 10 Jahren. Es haben sich in den letzten 10 Jahren mehr Betriebe verbessert als verschlechtert.

### Heutiger Problemstand Bodenerosion

Die Analyse der Trends in der Bodenbewirtschaftung zeigt also einige für den Schutz vor Erosion positive Entwicklungen. Diese sind in erster Linie eine Folge der agrarpolitischen Strukturverände-

rungen, namentlich der Extensivierung in Randregionen des Ackerbaus. Erst in zweiter Linie sind sie auf die gezielte Anwendung bodenschonender Bewirtschaftungstechniken zurückzuführen.

So ging die flächenhafte Erosionsgefährdung im Oberbaselbiet seit 1992 um etwa 20% zurück. Im Unterbaselbiet und im Laufental ist sie dagegen in den letzten 10 Jahren gleich geblieben. In der Gesamtbilanz liegen im ganzen Kanton heute etwas weniger Parzellen als 1992 in der höchsten Gefährdungsstufe für Bodenerosion.

In vielen Betrieben heben sich aber die für den Erosionsschutz des Bodens positiven und negativen Veränderungen der Bewirtschaftung gegenseitig auf. Eine Minderheit der Betriebe gefährdet den Boden sogar stärker als 1992. Auf vielen beobachteten Parzellen sind weitere Anpassungen der Bewirtschaftung und/oder besondere Schutzmassnahmen notwendig, um die Böden langfristig gesund zu erhalten.

Ansätze dazu liefern folgende Befunde aus dem Monitoring:

Fruchtfolgen und Fruchtfolgetrennung:

- Vor allem im Unterbaselbiet sind die Fruchtfolgen gemessen an der Erosionsgefährdung in vielen Betrieben zu stark erosionsfördernd.
- Im ganzen Kanton werden immer noch Parzellen mit mehr als 10% Gefälle mit ungeeigneten Fruchtfolgen bewirtschaftet.
- Zu wenig Betriebe nutzen die Möglichkeiten einer Fruchtfolgetrennung auf den erosionsgefährdeten und weniger gefährdeten Flächen.

Konservierende Bodenbearbeitung:

- Es gibt Betriebe, die den Anteil an Mais oder an Mais und Rüben in der Fruchtfolge deutlich erhöhen, aber unverändert konventionell anbauen, statt konservierende Verfahren einzuführen.

- Die Fruchtfolgen und speziell auch der Einsatz der Mulchsaattechnik orientieren sich nicht an den Hanglängen und der Erosionsanfälligkeit der Böden.

- Im Maisanbau ist die Mulchsaattechnik zwar im Vormarsch, aber noch viel zu wenig verbreitet.

Abflussregulierung:

- Abflussregulierende Massnahmen werden zu wenig eingesetzt.

Fokussierung der Erosionsbekämpfung:

- Nach wie vor orientiert sich die bodenschonende Gestaltung der Bewirtschaftung nicht an der Höhe der Erosionsgefährdung. Zudem konzentrieren die Betriebe besondere erosionsmindernde Bewirtschaftungsmassnahmen auch nicht auf die besonders erosionsexponierten Parzellen.

Folgerungen für die Beratung

Das Problem Bodenerosion konzentriert sich stärker regional (Unterbaselbiet, Laufental) und auf einzelne Betriebe als vor zehn Jahren. Das Gesamtbild des Problemstandes bei der Bodenerosion lässt sich zudem wie folgt charakterisieren:

- Die praktizierten Massnahmen zielen noch immer zu wenig auf die besonders gefährdeten Parzellen ab.
- Erprobte und auch betriebswirtschaftlich machbare Massnahmen werden zu wenig genutzt.
- Moderne Techniken der Bodenbearbeitung sind zu wenig verbreitet.
- Betriebe, die ganz auf Ackerbau umstellen, sind teilweise mit für sie neuen Problemen konfrontiert.

Dies alles weist darauf hin, dass der Weg zu einem verbesserten Erosionsschutz vor allem über eine gezieltere Beratung der einzelnen Betriebe führen muss. Dazu gibt es eine ganze Reihe von Ansatzpunkten:

1. Bodenschonende Anbaumethoden und besonders die Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung müssen besser bekannt gemacht werden. Dabei empfiehlt sich eine regionale Konzentration auf das Unterbaselbiet, das Lauental und das Gebiet Giebenach-Arisdorf. Besonders geförderte Pilotbetriebe sollten in diesen Kantonsteilen angesiedelt werden.
2. Es ist wichtig zu demonstrieren, dass die Mulchsaat von Mais ohne Ertragseinbussen möglich ist. Erfahrungen der Pilotbetriebe hierzu sollten aktiv vermittelt und der Erfahrungsaustausch gefördert werden.
3. Vor allem in Betrieben mit steileren Flächen sollte die Beratung unbedingt auf die vermehrte Anwendung der Fruchtfolgetrennung hinwirken. Fruchtfolgetrennung bedeutet Absenken des Anteils erosionsgefährdeter Kulturen auf den steileren Parzellen und entsprechende Erhöhung auf den flachen Parzellen. Dies lässt sich in vielen Betrieben ertragsneutral und ohne weitergehende Veränderungen der Bewirtschaftung umsetzen.
4. Betriebe, die mit der Milchwirtschaft aufhören und völlig auf Ackerbau umstellen, sollten in der Umstellungsphase besonders begleitet werden. Hierbei geht es um die Sensibilisierung für das Ausmass der Bodenerosion, Hinweise auf die Möglichkeiten moderner bodenschonender Anbautechniken und um die besondere Anpassung der Bewirtschaftung auf den steilen Parzellen.
5. Kunstwiesen und Buntbrachen sollten gezielter auf den besonders erosionsgefährdeten Parzellen plziert werden. Im Minimum geht es darum, den Erosionsschutz in die Überlegungen bei der Wahl der Parzellen miteinzubeziehen.
6. Die ÖLN-Kontrolleure sollten verstärkt für die Bodenerosion und den besonderen Problemstand im Kanton Basel-Landschaft sensibilisiert werden. Ziel ist es, auch im Rahmen der ÖLN-Kontrolle besonders gefährdete Parzellen zu erkennen und auf die möglichen Massnahmen hinzuweisen.
7. Generell sollte geprüft werden, wie sich die ÖLN-Kontrolle in Zukunft besser nutzen lässt, um Betriebe mit Erosionsproblemen zu ermitteln. Dazu gehören besonders auch Betriebe, deren Bewirtschaftung sich in Richtung einer Verstärkung der Erosionsgefährdung entwickelt. Ziel ist es, in kritischen Fällen mit dem Betriebsleiter Verbesserungsvorschläge für die Bewirtschaftung zu erarbeiten und diesen Prozess mit der ÖLN-Kontrolle anzuschließen. Eine Einstufung, ob Beratung für Erosionsschutzmassnahmen nötig ist oder nicht, könnte in Zukunft die Frage nach beobachtbarer Erosion, die in der Praxis ohnehin Probleme bereitet, ersetzen oder ergänzen.
8. Gefährdete Parzellen müssen gezielter und besser erkannt werden. Deshalb ist es wichtig, den Bodenerosionsschlüssel in den Betriebsleiterkursen zu schulen. Der Schlüssel sollte einen festen Platz im Kursprogramm bekommen.

## 1. Bewirtschaftungsbeobachtung unter dem Aspekt des Bodenerosionsschutzes - 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 schätzungsweise 20% der ackerbaulich genutzten Böden durch Bodenerosion gefährdet (Mosimann 1994).

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 auch Massnahmen zum Schutz des Bodens vor Erosion. Die Vermeidung von 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 geht es aber nicht darum „von heute auf morgen“ die Richtwerte des Bodenabtrags gemäss VBBo zu unterschreiten. Dies ist für viele Betriebe unter den gegebenen Rahmenbedingungen kurzzeitig nicht 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. Genau an diesem Punkt setzt die vorliegende Studie 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. Dies würde bei

grossem Aufwand keine auf die Fläche übertragbaren Ergebnisse bringen und wäre auch nicht genügend 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 der Ersterhebung im Jahr 1992 wurden - so weit möglich - die gleichen Betriebe im Winter 2002 erneut befragt. Die wichtigsten Ziele und Fragen dieser Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Wie haben sich Furchtfolgen, Bodenbedekung, Bodenbearbeitung und Bestelltechniken entwickelt? Welche Veränderungen bewirken eine Zu- oder Abnahme der Erosionsgefährdung?
2. Wie hat sich der flächenmässige Einsatz von Erosionsschutzmassnahmen verändert? Welche Massnahmen sind auf dem Vormarsch?
3. Wie sieht der Gesamttrend bei der Bewirtschaftung aus? Ist die Bewirtschaftung bodenschonender geworden und besser an die natürliche Erosionsgefährdung angepasst?
4. Wie sieht der Gesamttrend der Erosionsgefährdung aus? Hat die Gefährdung in den einzelnen Regionen zu- oder abgenommen und welches sind die Gründe dafür?
5. Wie sieht die Bilanz positiver und negativer Entwicklungen in der Bewirtschaftung aus? Wo soll ein verbesserter Erosionsschutz ansetzen? Welche Forderungen ergeben sich für die Beratung?

## 2. Methodisches Vorgehen

### 2.1 Methodische Konzeption dieser Langzeituntersuchung

Die Untersuchung beruht auf einer Langzeitbeobachtung von 76 zufällig ausgewählten, über das ganze Kantonsgebiet verstreuten Landwirtschaftsbetrieben mit Ackerbau (davon 83% Haupterwerbsbetriebe und 17 % Nebenerwerbsbetriebe). Diese Betriebe werden alle 10 Jahre besucht und befragt. Die Befragung erfasst alle quantitativen und qualitativen Merkmale der Bewirtschaftung, die für die Frage des Bodenerosionsschutzes relevant sind und im Rahmen eines längeren Interviews inklusiv einer Besichtigung der Bezugsparzelle erhoben werden können. Die Geländebegehung dient zudem der Erfassung der Faktoren der natürlichen Erosionsdisposition.

Die Untersuchung der Betriebe 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 der für die Untersuchung ausgewählten Bezugsparzelle(n). 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 (siehe Abb. 1). 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. 3) und zu den Gefährdungsstufen der Bodenfruchtbarkeit (Abb. 20) nicht die Durchschnittssituation im Kanton Basel-Landschaft wieder, sondern beschreiben die Situation von Betrieben mit stärker erosionsgefährdeten Flächen.

### 2.2 Die Betriebsbefragung 2002

Der Bezirk Laufental gehörte zum Zeitpunkt der Ersterhebung 1992 noch nicht zum Kanton Basel-Landschaft. Im Vorlauf der Befragung 2002 wurden deshalb im Herbst 2001 entsprechend dem auf Abb. 1 zusammengefassten Verfahren im Laufental sieben neue Betriebe für das Bewirtschaftungsmonitoring ermittelt. Diese sieben Betriebe 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. Soweit möglich erfasste die Befragung der Laufentaler Betriebe rückwirkend auch die Situation für das Jahr 1992. Mit Einschränkungen können also auch für das Laufental einzelne Tendaussagen gemacht werden. Der überwiegende Teil der Befunde zur Entwicklung der Bewirtschaftung und der Erosionsgefährdung muss sich aber auf den alten Kantonsteil beschränken. Die jeweiligen räumlichen Bezüge sind auf den einzelnen Abbildungen und Tabellen deutlich gemacht.

Alle 76 Betriebsleiter wurden persönlich auf ihren Betrieben im Zeitraum Mitte Februar 2002 bis Mitte April 2002 befragt. Die von K. Asmussen, K. Friedrich und M. Lähns durchgeführten Interviews dauerten jeweils etwa zwei Stunden. In jedem Betrieb fand zudem eine Feldbegehung der Bezugsparzellen zusammen mit den Landwirten statt. In diesem Rahmen wurden auch die erosionsrelevanten Gelände- und Parzellenmerkmale vor Ort

gemessen bzw. nachkontrolliert. Die Bezugsparzellen sind zudem photographisch dokumentiert.

Die Ergebnisse der Befragungen und Feldbegehungen sind in einer Betriebsdatenbank mit 122 Einzelmerkmalen der Bewirtschaftung und einer Bezugsparzellendatenbank mit 24 Einzelmerkmalen der Erosionssituation und 24 Einzelmerkmalen der Bewirtschaftung der Parzellen abgelegt.

### 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 konnte im Jahr 2002 auf 76 ausgeweitet werden. Dies sind fast 7 % aller Betriebe des Kantons und 9% der Betriebe mit mehr als 10 ha Nutzfläche .

- 89% der 1992 befragten Betriebe waren bereit, bei der Erhebung 2002 erneut mitzumachen. Die Aussagen zur Entwicklung der Bewirtschaftung sind also mit 64 wiederholt befragten Betrieben gut abgesichert. 80 % der wiederholt befragten Betriebe blieben in der Familie, so dass 2002 der gleiche Betriebsleiter wie 1992 oder dessen Sohn befragt werden konnte.

Die Stichprobengröße für die Auswertungen erreicht also maximal  $n = 76$  Betriebe oder  $n = 91$  Bezugsparzellen. Die in den Abbildungen und Tabellen vermerkten Stichprobengrößen für die einzelnen Analysen erreichen allerdings meist tiefere und unterschiedliche Werte. Erstbefragte Betriebe fallen nämlich bei den Trendanalysen überwiegend weg. Zudem schieden bei der Analyse der einzelnen Aspekte und Zusammenhänge meist einige

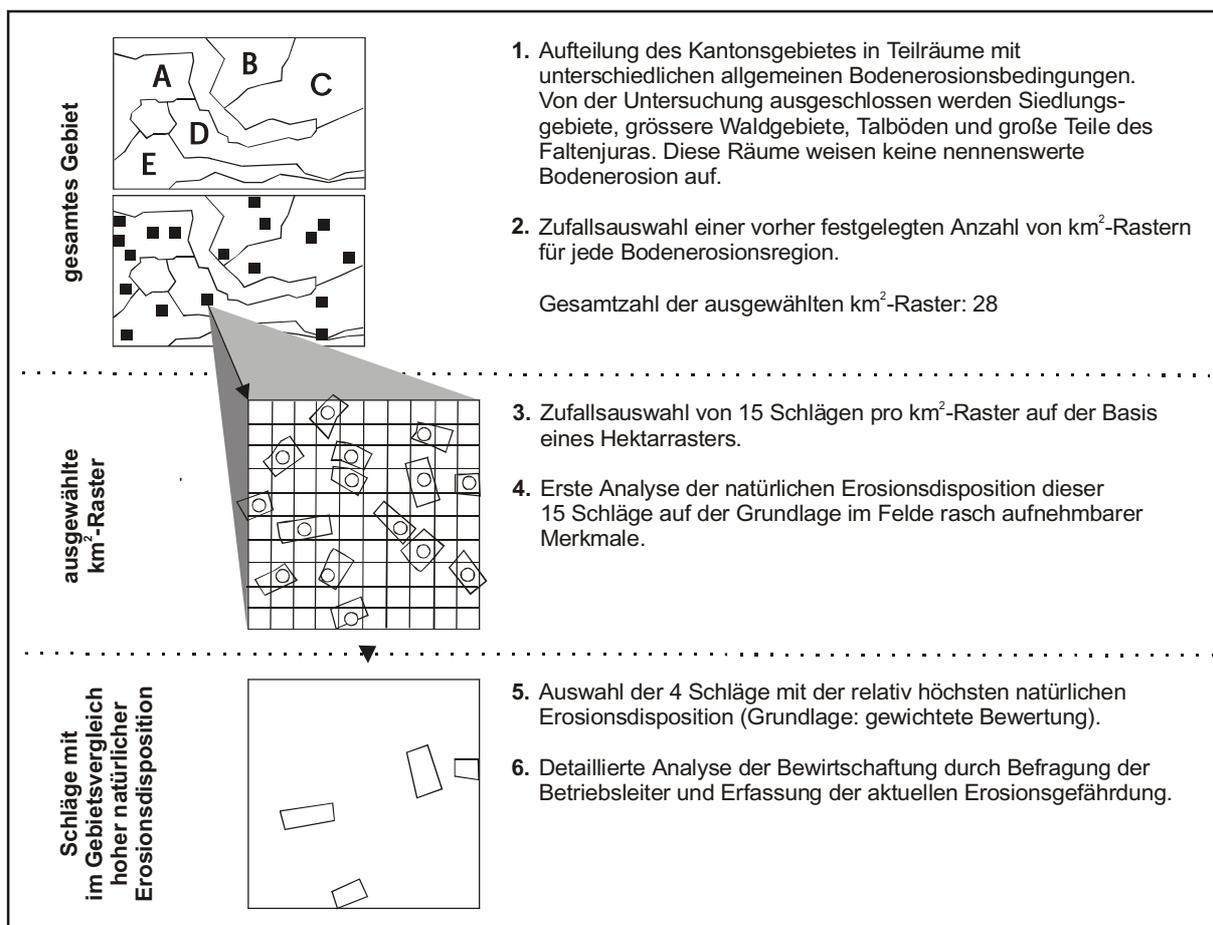


Abb. 1 Das schrittweise Vorgehen bei der statistisch repräsentativen Auswahl der untersuchten Ackererschläge und der Analyse von Bewirtschaftung und Bodenerosionsbedingungen

	1992	2002
Anzahl befragte Betriebe total	72	76
Anzahl befragte Betriebe Unterbaselbiet	24	21
Anzahl befragte Betriebe Oberbaselbiet	48	48
Anzahl befragte Betriebe Laufental	0	7
Anzahl auswertbare Bezugspartellen total	85	91
Anteil der befragten Betriebe an der Gesamtzahl der Betriebe > 10 ha	7,5%	9,0%

Befragung 2002	Anzahl	%
Anzahl befragte Betriebe	76	100
davon bereits 1992 befragt	64	84,2
davon 2002 neu befragt	12	15,8
Anteil der 2002 wieder befragten Betriebe bezogen auf die Gesamtzahl der 1992 erfassten Betriebe		88,9
Anteil der aus dem Monitoring ausgeschiedenen Betriebe		11,1

Tab. 1 Übersicht zu Anzahl und Anteilen der befragten Betriebe und berücksichtigten Parzellen.

Die Zahl der Bezugspartellen ist grösser, weil auf einigen km<sup>2</sup>-Rastern grössere Betriebe mit mehreren Parzellen in der Stichprobe vertreten sind.

Betriebe wegen nicht eindeutig interpretierbarer Angaben oder Sondersituationen aus.

## 2.4 Auswertungsmethoden

Die Auswertungen umfassen die Berechnung betriebs- und parzellenbezogener Faktoren und Indizes zur Bewirtschaftung und Erosionsgefährdung, Punktbewertungen zur Aggregation 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), Mosimann & Rüttimann (1996).
- 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 Aggregation 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 Faktoren und Wirkungsbereiche

### 3.1 Der Wirkungsbereich Fruchtfolgen und Winterbedeckung

#### 3.1.1 Der C-Faktor als Indikator für die Fruchtfolgewirkung 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 nicht in allen Aspekten, aber im wesentlichen erfüllt (siehe Kasten).

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 liegt (C-Faktor der Schwarzbrache: 1,0; C-Faktor der Fruchtfolge: Wert unter 1,0. Im schweizerischen Ackerbau meist im Bereich von 0,02 bis 0,3).

Der C-Faktor berücksichtigt den Effekt der vor dem Aufprall der Regentropfen schützenden Bodenbedeckung durch die verschiedenen Kulturen und den Einfluss der ebenfalls kulturabhängigen Bodenbearbeitung auf die Erodierbarkeit des Bodens. Bodenbedeckung und Bodenzustand verändern sich im Jahresverlauf ständig. Diese müssen deshalb zusätzlich 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 gering erosiven Niederschlägen viel weniger als in einer Periode mit intensiven Niederschlägen.

Die Berechnung der C-Faktoren basiert auf den Relativen Bodenabtragswerten (RBA) der einzelnen Kulturen (Abtragsstandardwert der Kultur im Vergleich zur Schwarzbrache), den regionstypischen Entwicklungsphasen der Kulturen (Kulturkalender) und der regionstypischen jährlichen Verteilung der Erosivität der Niederschläge (methodische Grundlagen: Schwertmann 1990).

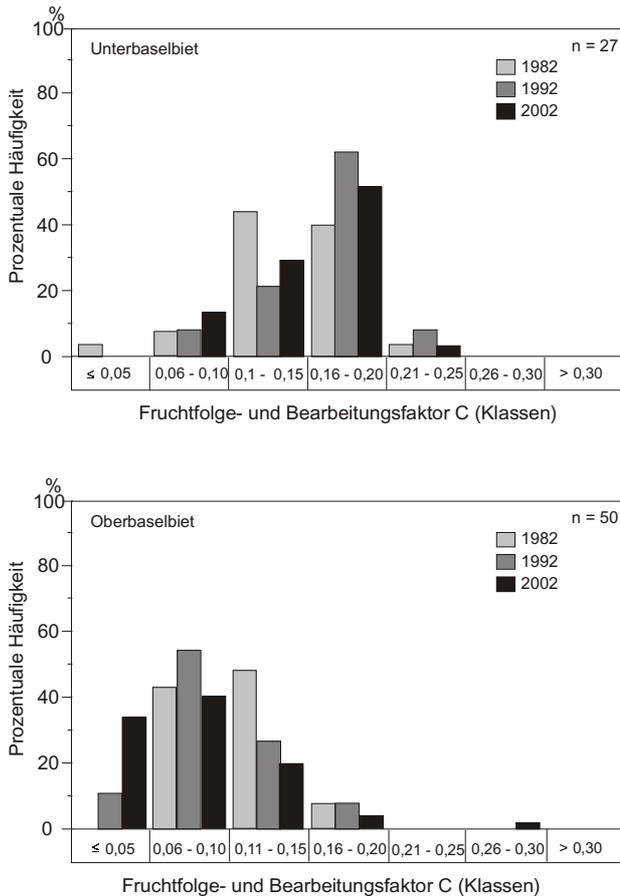


Abb. 2 Häufigkeitsverteilungen des Fruchtfolgefaktors in den Jahren 1982, 1992 und 2002. Unterbaselbiet und Oberbaselbiet

### 3.1.2 Die Entwicklung der Fruchtfolgefaktoren seit 1982

Die C-Faktoren liegen im Kanton Basel-Landschaft mit ganz wenigen Ausnahmen zwischen 0,02 und 0,25, mit einem in den letzten 20 Jahren nur wenig veränderten Mittel bei ca. 0,1. Die C-Faktoren waren im Durchschnitt im Unterbaselbiet schon 1982 höher als im Oberbaselbiet. Dieser regionale Unterschied ist in den letzten 20 Jahren zunehmend grösser geworden (Tab. 2, Abb. 2). Die von den Fruchtfolgen ausgehende Erosionsgefährdung liegt jetzt im Unterbaselbiet doppelt so hoch wie im Oberbaselbiet.

Diese Entwicklung resultiert fast ausschliesslich aus Veränderungen im Oberbaselbiet. Im Unterbaselbiet änderten sich die Mittelwerten kaum und es gab nur geringe Verschiebungen bei den Häufigkeitsverteilungen der C-Faktor-Klassen (Abb. 2). Im Oberbaselbiet verschoben sich dagegen die

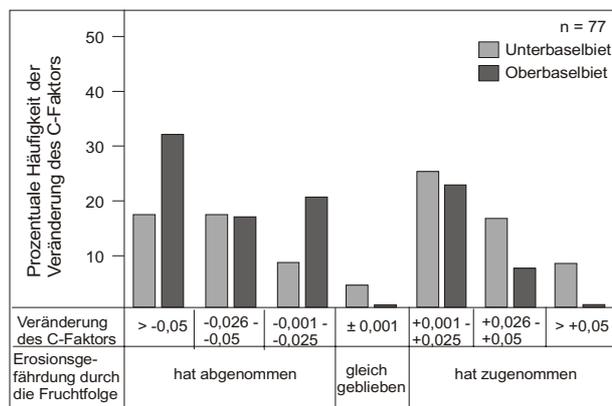


Abb. 3 Veränderung der der Fruchtfolgefaktoren im Zeitraum 1992 bis 2002. Häufigkeiten unterschiedlicher Zu- und Abnahmen.

am häufigsten vorkommenden Fruchtfolgefaktoren markant nach unten. Insbesondere sehr niedrige C-Faktoren unter 0,05, die 1982 noch gar nicht vorkamen, erreichen jetzt einen Anteil von einem Drittel. Diese Entwicklung im Oberbaselbiet ist überwiegend das Ergebnis eines Rückgangs des Mais und des Wintergetreides und einer Zunahme der Kunstwiesen und Buntbrachen (siehe Abb. 4). Besonders der Mais wurde in einer Reihe der beobachteten Betriebe ganz aus den Fruchtfolgen eliminiert. Der im Oberbaselbiet seit einigen Jahren beobachtete Extensivierungsprozess im Ackerbau lässt sich jetzt also deutlich an den Fruchtfolgefaktoren ablesen. Die durchschnittliche Erosionsgefährdung durch die Fruchtfolgen hat im oberen Kantonsteil um etwa 20-25% abgenommen. Die Mittelwerteunterschiede sind signifikant (5%-Niveau; U-Test).

Diese „durchschnittliche“ Entwicklung setzt sich aus einem weiten Spektrum von C-Faktor-Veränderungen in den Einzelbetrieben zusammen (Abb. 3). Die Periode von 1992-2002 war auch bei den Fruchtfolgen eine Periode des Wandels. Während noch 1982-1992 in über 40% aller Betriebe die C-Faktoren gleich blieben, gibt es seit 1992 fast keine Betriebe mit gleichbleibenden Werten. Wie Abb. 3 zeigt, nahmen in den einzelnen Betrieben die Fruchtfolgefaktoren zum Teil ab und zum Teil zu. Deutliche Abnahmen sind in beiden Kantonsteilen häufiger als deutliche Zunahmen. Auch im Oberbaselbiet mit dem oben geschilderten durchschnittlichen Rückgang der Fruchtfolgefaktoren weisen aber rund ein Drittel der Betriebe jetzt höhere C-Faktoren auf; in jedem zehnten Betrieb sind diese sogar deutlich höher. Der Fruchtfolge-wandel ist im einzelnen also sehr vielfältig.

### 3.1.3 Was hat sich in den Fruchtfolgen verändert?

Alle Betriebe mit deutlichen Ab- oder Zunahmen der C-Faktoren wurden analysiert und Betriebe mit ähnlichen Veränderungen in Gruppen zusammengefasst. Für diese Gruppen lassen sich die wichtigen Verschiebungen bei den Anteilen der Kulturarten in leicht generalisierter Form festhalten. Abb. 4 und 5 fassen zusammen, welche Kulturen hauptsächlich wegfielen, reduziert oder in ihrem Anteil

C-Faktoren		Unteraselbiet	Oberaselbiet
1982	Mittel	<b>0,14</b>	<b>0,11</b>
	Standardabweichung	0,04	0,02
	Anzahl Fälle	19	41
1992	Mittel	<b>0,15</b>	<b>0,09</b>
	Standardabweichung	0,03	0,03
	Anzahl Fälle	23	48
2002	Mittel	<b>0,14</b>	<b>0,07</b>
	Standardabweichung	0,04	0,05
	Anzahl Fälle	27	55

Tab. 2 Mittelwerte und Standardabweichungen der Fruchtfolgefaktoren C im Unter- und Oberaselbiet. Entwicklung 1982 - 2002.

Für das Laufental sind wegen der geringen Anzahl von neun befragten Betrieben und der 2002 erstmals durchgeführten Befragung keine gesonderten Aussagen möglich.

erhöht wurden und welche Hauptmerkmale die neue Fruchtfolge aufweist. Auf der rechten Skala stehen die C-Faktoren der neuen Fruchtfolgen. Auf der unteren Skala kann abgelesen werden, um wieviel die C-Faktoren bei den jeweiligen Veränderungen ab- oder zugenommen haben. Aus der Relation der Ab- oder Zunahme und dem neu erreichten C-Faktor lässt sich auch der ungefähre quantitative Effekt der Fruchtfolgeänderung auf die Erosionsgefährdung ableiten.

Die wichtigsten Veränderungen sehen wie folgt aus:

#### *Abnahme von C-Faktoren:*

- Wegfallen von bis zu 25 % Mais zugunsten von Kunstwiese und Buntbrache. In Einzelfällen nur Reduktion des Mais.
- Wegfallen oder Reduktion von Wintergetreide zugunsten von Kunstweiden und Buntbrachen. In den meisten Fällen mit grösseren Veränderungen wurden Mais und Wintergetreide reduziert.
- Sommergetreide oder Ackerbohnen durch Wintergetreide ersetzt.

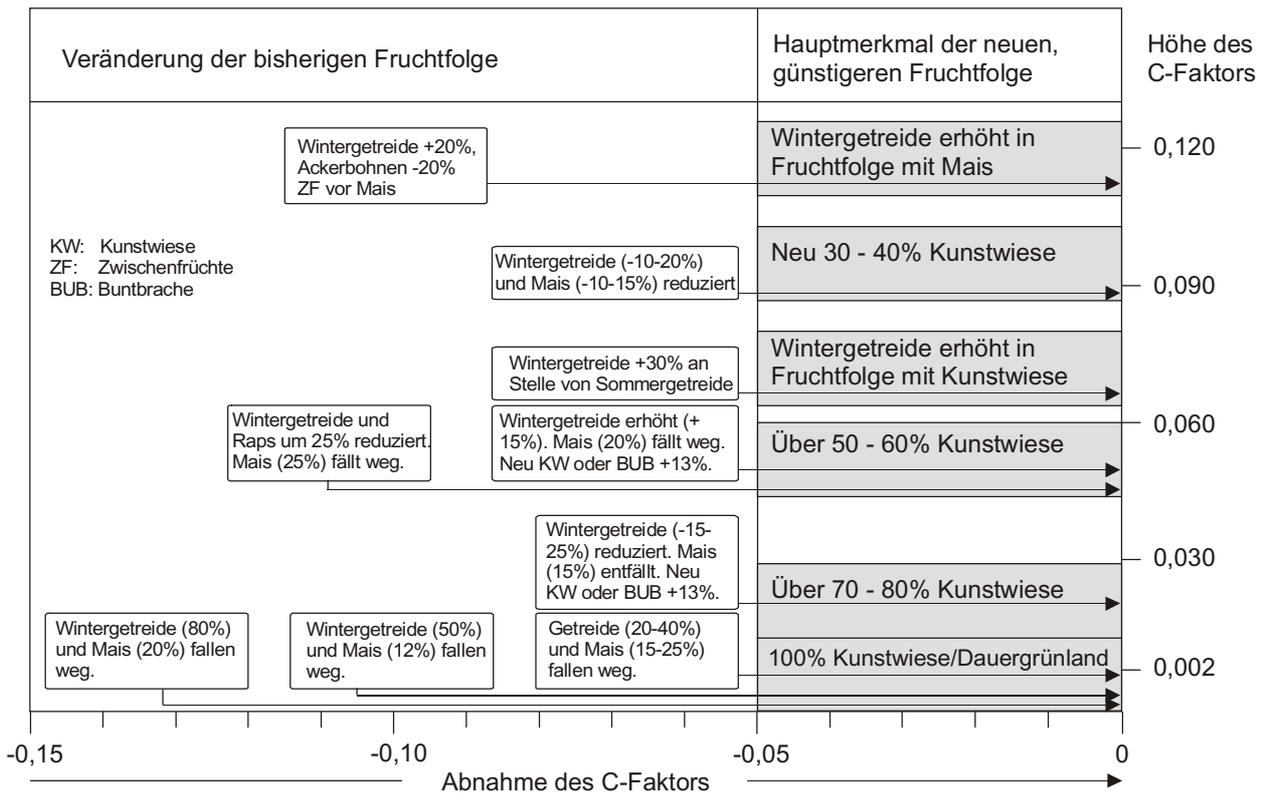


Abb. 4 Übersicht zu den wichtigsten Veränderungen der Kulturanteile in Fruchtfolgen mit abnehmender Erosionsgefährdung

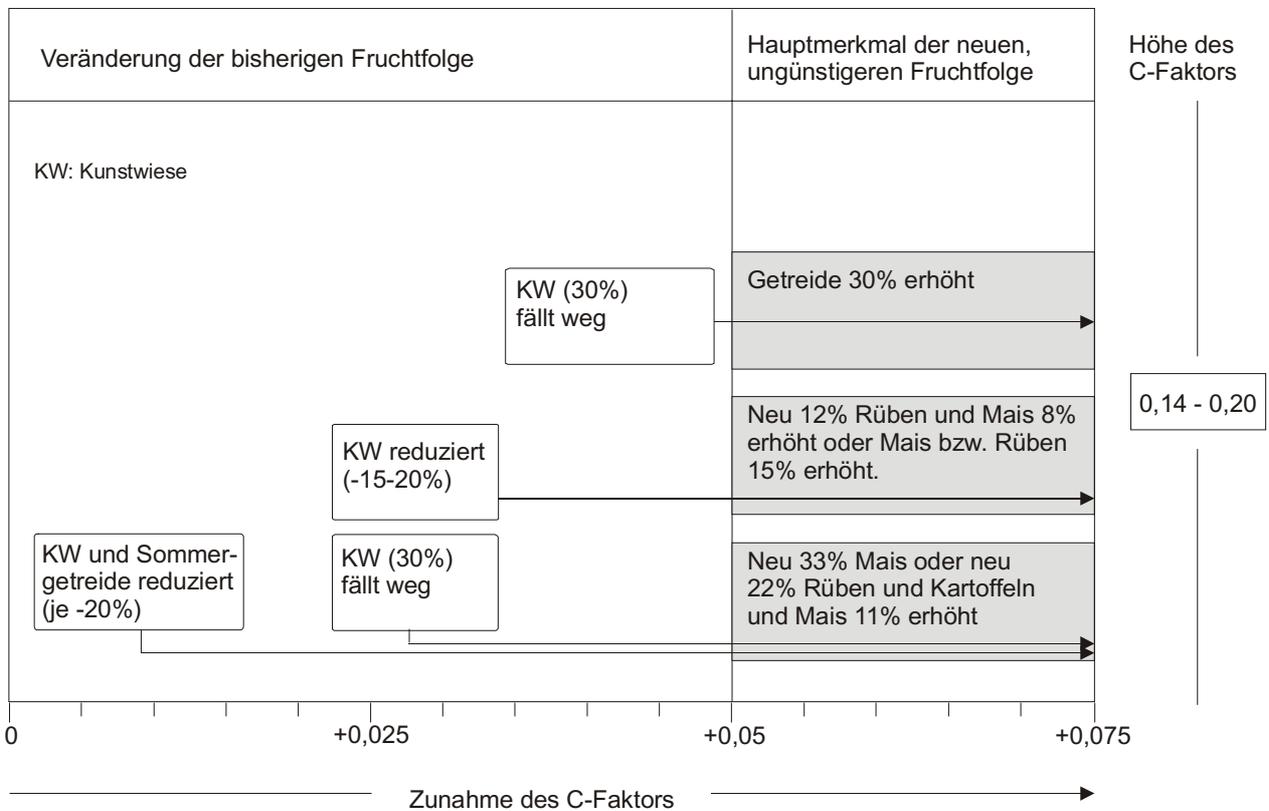


Abb. 5 Übersicht zu den wichtigsten Veränderungen der Kulturanteile in Fruchtfolgen mit zunehmender Erosionsgefährdung

Der Haupttrend bei Fruchtfolgen mit klar abnehmenden C-Faktoren liegt in einer erheblichen Erhöhung der Kunstwiesen- und -weniger akzentuiert - der Buntbrachenanteile. Dieser deutliche Anstieg der Kunstwiesen erhöht nicht nur die Bodenbedeckung erheblich, sondern lässt auch den Humuspegel und damit die Bodenstabilität allmählich ansteigen. Weniger bedeutend für die Reduktion der C-Faktoren sind dagegen neu eingeführte Zwischenfrüchte im Zusammenhang mit konservierender Bodenbearbeitung (siehe dazu auch Abb. 9-11 und Kap. 3.2).

#### *Zunahme von C-Faktoren*

- Wegfall von Kunstwiesen zugunsten von Mais, Mais und Rüben oder Getreide.
- Reduktion von Kunstwiese oder Kunstwiese und Sommergetreide zugunsten von Mais oder Mais und Rüben.

Alle Zunahmen von C-Faktoren um mehr als 0,025 Einheiten resultieren aus der Erhöhung des Hackfruchtanteils um 20-33% ohne die Einführung konservierender Bestelltechniken.

#### 3.1.4 Orientieren sich die Fruchtfolgen an der natürlichen Erosionsdisposition?

Angepasste Fruchtfolgen haben eine hohe Bedeutung im Erosionsschutz. Ein wichtiges Ziel des Bodenschutzes ist es deshalb, die Fruchtfolgefaktoren so weit wie möglich an die natürliche Erosionsdisposition anzupassen. Wie sieht dieser Zusammenhang im Jahr 2002 aus?

Die Antwort fällt differenziert aus. Abb. 6 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Fruchtfolgefaktor C und dem Gefälle der Bezugsparzellen, Abb. 7 den entsprechenden Zusammenhang zur gesamten natürlichen Erosionsdisposition. Die gesamte natürliche Erosionsdisposition ergibt sich aus Gefälle, Hanglänge, Bodeneigenschaften und Niederschlagsverhältnissen. Der Vergleich von Abb. 6 und Abb. 7 zeigt deutlich:

- Die Erosionsgefährdung durch die Fruchtfolgen nimmt mit zunehmendem Gefälle im Gesamttrend eindeutig und ausgeprägter als 1992 ab. Wegen der weiten Streuung der Einzelwerte ist allerdings der statistische Zusammenhang nur lose (Abb. 6).
- Eine Abhängigkeit von der gesamten natürlichen Erosionsdisposition, in die das Gefälle miteinfließt, existiert dagegen kaum. Es lässt sich nur ein schwacher Trend ausmachen. Wie ist das zu interpretieren?

Die Abhängigkeiten zeigen naturgemäss eine weite Streuung der Fruchtfolgefaktoren. Bei der Abhängigkeit vom Gefälle fällt aber auf, dass bei Parzellenneigungen über 16 % nur noch niedrige C-Faktoren auftreten. Auf extrem geneigten Parzellen gibt es nur noch Fruchtfolgen mit 50-85 % Kunstwiese und Getreide. Es hat also in einigen Betrieben mit besonders steilen Flächen eine Entwicklung in Richtung tiefere Fruchtfolgefaktoren stattgefunden. Dies gilt für das Oberbaselbiet und ist Ausdruck der Tendenz zur Extensivierung. Im Unterbaselbiet gibt es diesen Zusammenhang weniger. Hier nahm z.B. der C-Faktor nur auf zwei von zehn Bezugsparzellen mit mehr als 10% Gefälle stark ab.

Die auf den steileren Flächen viel häufiger vorkommenden besonders tiefen C-Faktoren sind Ausdruck von Fruchtfolgen mit sehr hohem Kunstwiesenanteil, Buntbrachen und als weitere Frucht ausschliesslich Getreide. In den meisten Fällen wurden die neuen niedrigen Werte durch das Verschwinden des Mais und in einigen Fällen durch das deutliche Absinken des Getreideanteils erreicht (siehe auch Abb. 4).

Die Fruchtfolgen orientieren sich gesamthaft also etwas stärker am Gefälle. Dieser unter dem Gesichtspunkt des Bodenschutzes positive Befund wird nun aber durch die geringe Abhängigkeit der Fruchtfolgefaktoren von der gesamten natürlichen Erosionsdisposition relativiert. Der Effekt des Gefälles schlägt gerade noch in einem schwachen Trend niedrigerer C-Faktoren bei hoher Erosionsgefährdung durch. Abb. 7 lässt aber den klaren

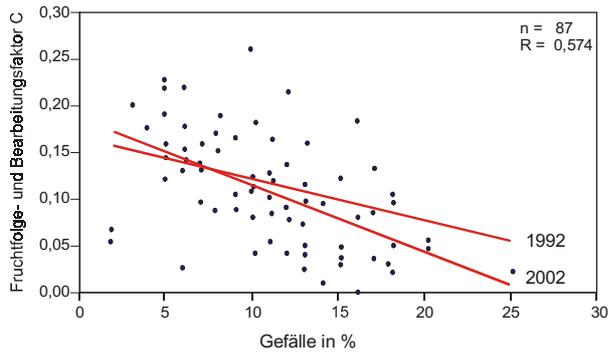


Abb. 6 Abhängigkeit der Fruchtfolgefaktoren vom Gefälle der untersuchten Bezugspartellen

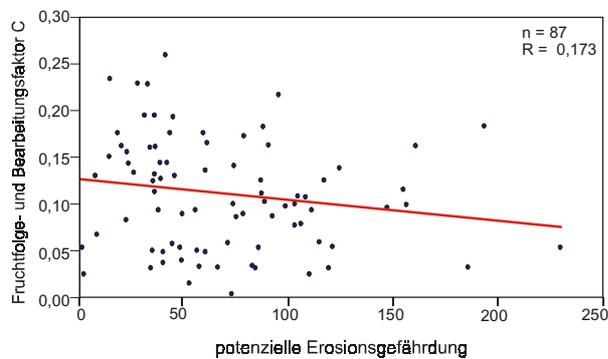


Abb. 7 Abhängigkeit der Fruchtfolgefaktoren von der natürlichen Erosionsdisposition.

Die natürliche Erosionsdisposition ergibt sich aus Gefälle, Hanglänge, Bodeneigenschaften und Niederschlagsbedingungen (Multiplikation der Faktoren S, L, K und R der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung).

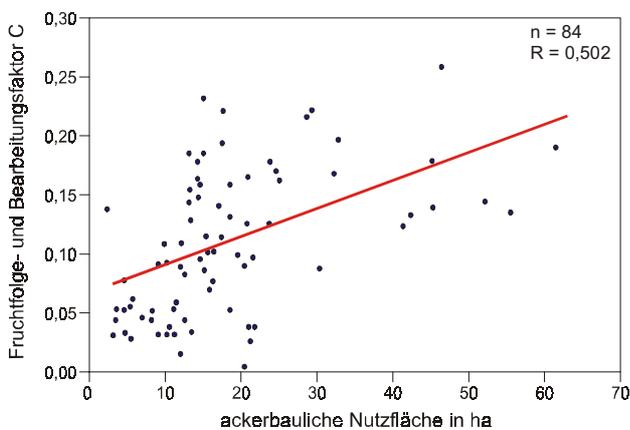


Abb. 8 Abhängigkeit der Fruchtfolgefaktoren von der Grösse der ackerbaulichen Nutzfläche der einzelnen Betriebe

Schluss zu, dass die Fruchtfolgen und konservierende Anbautechniken wie die Mulchsaat überhaupt nicht an die Gefährdungsfaktoren Hanglänge (hängt stark von der Parzellengrösse ab) und die Erosionsanfälligkeit des Bodens angepasst sind. Im Gegenteil. Im Unterbaselbiet mit den wesentlich erosionsanfälligeren Böden liegen die C-Faktoren deutlich höher als im Jura (Tab. 2). Es gibt also leider keinen Trend einer verstärkten Orientierung der Fruchtfolgen an der Erosionsgefährdung der einzelnen Flächen im Sinne einer gezielten Orientierung der Bewirtschaftung an Belange des Bodenschutzes. Der positive Effekt der Abnahme der C-Faktoren auf stark geneigten Partellen resultiert aus dem allgemeinen Strukturwandel der Bewirtschaftung.

Wenig verändert ist der Zusammenhang zwischen der Grösse der ackerbaulichen Nutzfläche der Betriebe und dem Fruchtfolgefaktor (Abb. 8). Besonders tiefe C-Faktoren finden sich nur in Betrieben bis ca. 20 ha Ackerfläche. Bei grossen Betrieben dagegen ist das Spektrum sehr weit: Von relativ günstigen C-Faktoren um 0,1 bis zu im schweizerischen Vergleich hohen Werten um 0,25. Die hohen Werte resultieren dabei aus 40-60% Mais, Soja oder Mais/Rüben/Erbsen und zum Teil Brachen im Winter. Neu gibt es jedoch auch einige grössere Betriebe mit mehr als 40 ha Ackerfläche, deren Fruchtfolgefaktoren zwischen 0,1 - 0,15; also in einem „moderaten“ Bereich, liegen.

### 3.1.5 Die Entwicklung der Winterbedeckung

Der bodenschützende Effekt der Winterbedeckung wird in den Fruchtfolgefaktor miteingerechnet. Da eine Winterbedeckung seit der offiziellen Einführung der Integrierten Produktion (1993) bzw. des Ökologischen Leistungsnachweises (1998) Pflicht ist, interessiert eine kurze Betrachtung der Entwicklung der Art der Winterbedeckung.

Winterbedeckung geschieht durch Kunstwiesen, Wintergetreide, Winterraps und Zwischenfrüchte. Der Anteil der Betriebe mit Zwischenfrüchten vor Sommerhauptkulturen ist mit 80 % hoch, hat sich jedoch seit 1992 nicht mehr ausgeweitet (Abb.

15). 10% der befragten Betriebe haben noch Winterbrachen, in Einzelfällen mit Anteilen bis zu 50 % aller Winter. Es handelt sich meist um Stoppelbrachen; Schwarzbrachen kommen nur noch vereinzelt vor. Getreide- und Rapsstoppeln sind als „Winterbedeckung“ sinnvoll. Sie schützen im Idealfall den Boden bis zehnmal besser vor Erosion als Wintergetreide und annähernd so gut wie abfrierende Zwischenfrüchte.

Auch bei der Winterbedeckung hat sich in den letzten 10 Jahren einiges verändert (Abb. 9). Die Winterfrüchte nahmen leicht und die Kunstwiesen und Grün-/Buntbrachen deutlich zu. Vor allem im Unterbaselbiet sind Kunstwiesen und Grün-/Buntbrachen insgesamt stärker vertreten. Die Schwarzbrachen haben allgemein nochmals etwas abgenommen. Bei den Zwischenfrüchten ist die Situation uneinheitlich. Im Unterbaselbiet ergibt sich eine klare Verschiebung von den abfrierenden zu den winterharten Zwischenfrüchten. Im Oberbaselbiet haben dagegen die winterharten Zwischenfrüchte in der Gesamttendenz abgenommen. Dies

liegt an der Verschiebung der Fruchtfolge zu den Kunstwiesen und Buntbrachen hin.

Wie wirken sich diese Veränderungen der Winterbedeckung auf die Erosionsgefährdung aus? Gesamthaft ist der Schutz der Bodenoberfläche im Winter etwas besser geworden. Dies liegt vor allem an der Ausweitung der Kunstwiesen und Buntbrachen und etwas weniger am weiteren leichten Rückgang der Brachen sowie am Trend von den abfrierenden zu den winterharten Zwischenfrüchten. Wenig Effekt geht dagegen von der teilweisen Zunahme des Wintergetreides aus, da die Oberflächenbedeckung v.a. beim Weizen mit 5-10 % sehr begrenzt ist.

Die Winterbedeckung hat wegen des sehr hohen Anteils der ÖLN-Betriebe mit den entsprechenden Auflagen unterdessen einen sehr hohen Stand erreicht. Sie ist ein wichtiger Grund dafür, dass die mittleren C-Faktoren im Oberbaselbiet sehr tief liegen und im Unterbaselbiet bei ca. 0,15 im Durchschnitt stagnieren. Im Oberbaselbiet gibt es

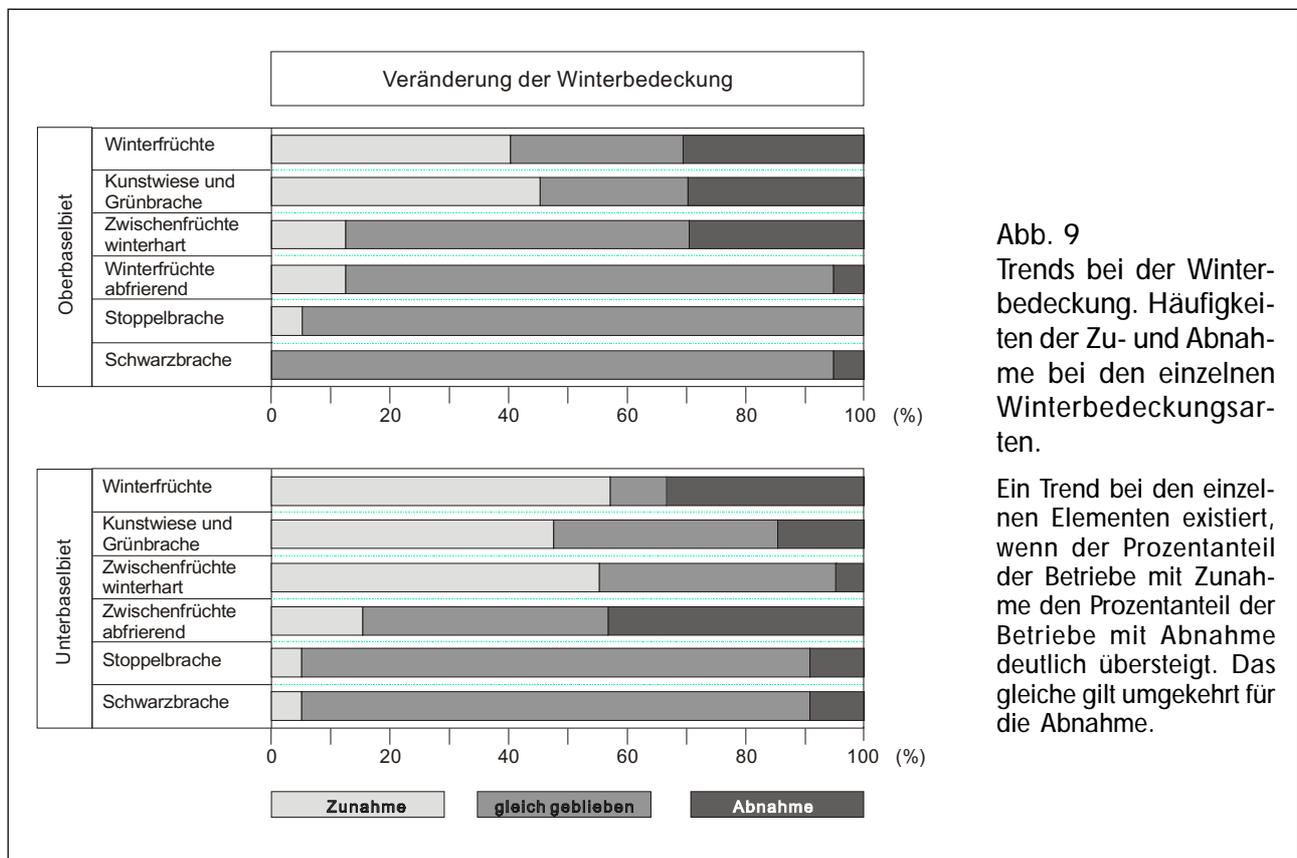


Abb. 9 Trends bei der Winterbedeckung. Häufigkeiten der Zu- und Abnahme bei den einzelnen Winterbedeckungsarten.

Ein Trend bei den einzelnen Elementen existiert, wenn der Prozentanteil der Betriebe mit Zunahme den Prozentanteil der Betriebe mit Abnahme deutlich übersteigt. Das gleiche gilt umgekehrt für die Abnahme.

daher bei der Winterbedeckung nur noch in einzelnen Betrieben Handlungsspielraum. Im Unterbaselbiet und im Laufental macht sich jedoch die Stagnation bei der Verbreitung der Zwischenfrüchte bemerkbar. Hier gibt es zu viele Betriebe, die bei hohen Anteilen von Mais, Rüben und/oder Erbsen noch mehrere Winter mit Brache in der Fruchtfolge aufweisen.

### 3.2 Der Wirkungsbereich Bodenbearbeitung und Bodenstabilisierung

Die Bodenbearbeitung greift über Lockerung, Verdichtung, Verkleinerung, wenden/nicht wenden, Verteilung der organischen Substanz, 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. Die quantifizierbaren Effekte (die üblichen an die Kulturen gekoppelte Bodenbearbeitung, wendend/nicht wendend, 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.

#### 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 Stufen klassifizieren (siehe Kasten). Entscheidend ist dabei wendende oder nicht wendende Bodenbearbeitung und die mechanische Intensität der Aufbereitung („Zerkleinerung“) der Krume für das Saatbett (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 intensiven und extensiven Folgegerät.

Die Verbreitung der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme hat sich in den letzten 10 Jahren nicht stark verändert (Abb. 10). Der Anteil der „konventionell“ mit Pflug arbeitenden Betriebe ist nahezu gleichgeblieben (ca. 60%). Eine relevante und für den Erosionsschutz vorteilhafte Verschiebung ergab sich aber bei den mit Grubber arbeitenden Betrieben. Hier war 1992 der Einsatz zapfwellengetriebener Folgegeräte für die Saatbettbearbeitung noch allgemeiner Standard. Annähernd ein Fünftel dieser Betriebe haben unterdessen auf extensive Folgegeräte umgestellt und damit die Widerstandfähigkeit der Krume erhöht. Somit erreichen 6% der Betriebe im Unterbaselbiet und Laufental und 8% der Betriebe im Oberbaselbiet die zweitniedrigste Stufe der Bodenbearbeitungsintensität. Die für den Schutz des Bodens optimale Stufe der Bearbeitungstechnik hat sich aber noch in keinem Betrieb etabliert.

Ein Zusammenhang zwischen der Intensität des praktizierten Bodenbearbeitungssystems und der Erosionsgefährdung der Bezugspartzellen besteht nicht.

Eine Extensivierung der Bodenbearbeitung fand in Mischbetrieben (v.a. Ackerbau und Milchwirtschaft) und in reinen Ackerbaubetrieben statt. Ein Sechstel der extensiver als 1992 bearbeitenden Betriebe sind Biobetriebe. Die Betriebe mit einer Reduzierung der Bearbeitungsintensität unterscheiden sich aber allgemein wenig von den Übrigen. Sie weisen zwar keine Fruchtfolgen mit besonders hohen C-Faktoren auf. Zwischenfrüchte erreichen aber keinen höheren Anteil als in der Gesamtstichprobe. Die Zufuhr organischer Substanz hat sich parallel zur Extensivierung der Bearbeitungstechnik nicht erhöht, sondern in einigen Fällen sogar verschlechtert.

Konservierende Bodenbearbeitung im engeren Sinne betreiben Betriebe mit Mulchsaat. Mulchsaat von Mais hat in den letzten 10 Jahren eine deutlich grössere Verbreitung gefunden (Abb. 15). In Rüben kommt sie dagegen wegen des Risikos von Ertragseinbussen nicht vor. 15% der beobachteten Betriebe mit Anbau von Mais wenden jetzt Mulchsaatverfahren an. 1992 waren es erst wenige Prozent. Diese Entwicklung ist einer der

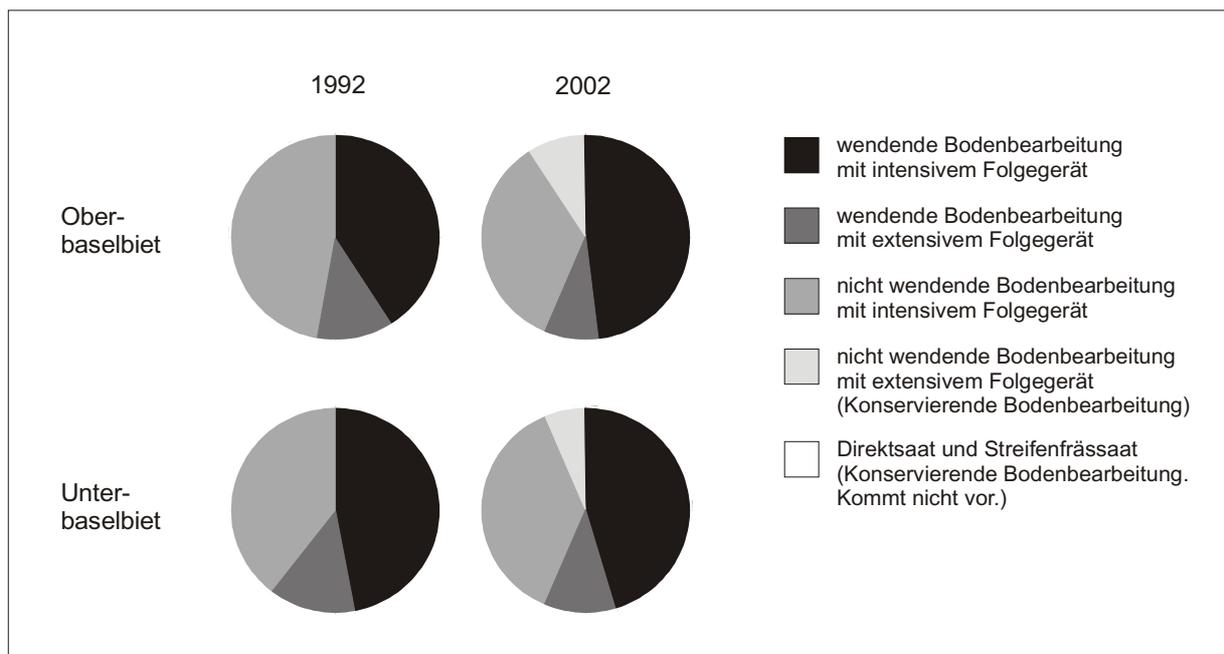


Abb. 10 Anteil der Bodenbearbeitungssysteme unterschiedlicher Intensität in den Jahren 1992 und 2002

sekundären Gründe für die Abnahme der C-Faktoren (Tab. 2, Abb. 2 und 3) und die leichte Abnahme der aktuellen Erosionsgefährdung im Oberbaselbiet (Tab. 3).

Region	Gewicht des schwersten eingesetzten Traktors		Achslast des schwersten eingesetzten Gerätes	
	Mittelwert in kg		Mittelwert in kg	
	1992	2002	1992	2002
ganzer Kanton	4350	5200	5180	7400
Oberbaselbiet	4100	4840	4720	7090
Unteraselbiet	4750	5790	5820	7720
Laufental	4670	5570	6220	8140

Tab. 3 Gewichte der Traktoren und schwersten eingesetzten Geräte: Mittelwerte 1992 und 2002

Bodenbearbeitungssysteme unterschiedlicher Intensität - eine Übersicht

Kategorie 1: Direktsaat und Streifenfrässaat

Direktsaat bei allen Kulturen sowie die Streifenfrässaat im Mais. Einsatz im ganzen Anbausystem über mehrere Jahre oder Teileinsatz bei einzelnen Kulturen.

Kategorie 2: Nicht wendende Bodenbearbeitung mit extensivem Folgegerät

Alle Verfahren ohne Pflug mit bodengetriebenen bzw. gezogenen (also extensiven) Geräten. Darunter fallen in erster Linie Federzinkenegge und Grubber. Die Kategorie 2 enthält auch Mulchsaaten. Je nach Vorkulturen, Ernteresten und Anzahl der Überfahrten erreichen die Verfahren dieser Kategorie die für Mulchsaaten geforderte Bodenbedeckung von 30 %.

Kategorie 3: Nicht wendende Bodenbearbeitung mit intensivem Folgegerät

Alle Verfahren ohne Pflug mit mindestens einem zapfwellengetriebenen, also intensiven Folgegerät. Als Geräte werden vor allem Kreiselegge, Zinkenrotor und Bodenfräse verwendet. Kategorie 3 kann nur in Ausnahmefällen mit viel Ernteresten als Mulchsaat bezeichnet werden. Eine Mulchbedeckung von mindestens 30 % wird in vielen Fällen nicht mehr erreicht.

Kategorie 4: Wendende Bodenbearbeitung mit intensivem Folgegerät

Alle Verfahren mit Pflug und einem bodengetriebenen Folgegerät (meist Federzinkenegge). Im wesentlichen ein extensives konventionelles Verfahren.

Kategorie 5: Wendende Bodenbearbeitung mit intensivem Folgegerät

Alle Verfahren mit Pflug und einem zapfwellengetriebenen (also intensivem) Folgegerät. Konventionelles intensives Verfahren.

(nach Prasuhn & Grünig 2001)

### 3.2.2 Entwicklung der Indikatoren der mechanischen Beanspruchung des Bodens

Einfache Indikatoren für die mechanische Beanspruchung des Bodens sind Pflugeinsatz, Anwendung von Gerätekombinationen, Anzahl Überfahrten, Traktorengewichte und Achslasten der Geräte. Die mechanische Beanspruchung wirkt dabei indirekt auf die Bodenerosion durch die Bodenverdichtung mit der Folge erhöhten Oberflächenabflusses und direkt durch die Kanalisierung von Wasser in Fahrspuren. Die indirekten Wirkungen sind nicht quantifizierbar. 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. Der Einsatz von Onland-Pflügen verlagert die Lastwirkung von der Furche auf die Oberfläche des abgeernteten Feldes. Aus diesem und weiteren Gründen bilden die genannten Indikatoren keine direkten Zusammenhänge zwischen mechanischer Bodenbelastung und Bodenerosion ab. Sie zeigen aber auf, in welche Richtung sich die Risiken entwickeln.

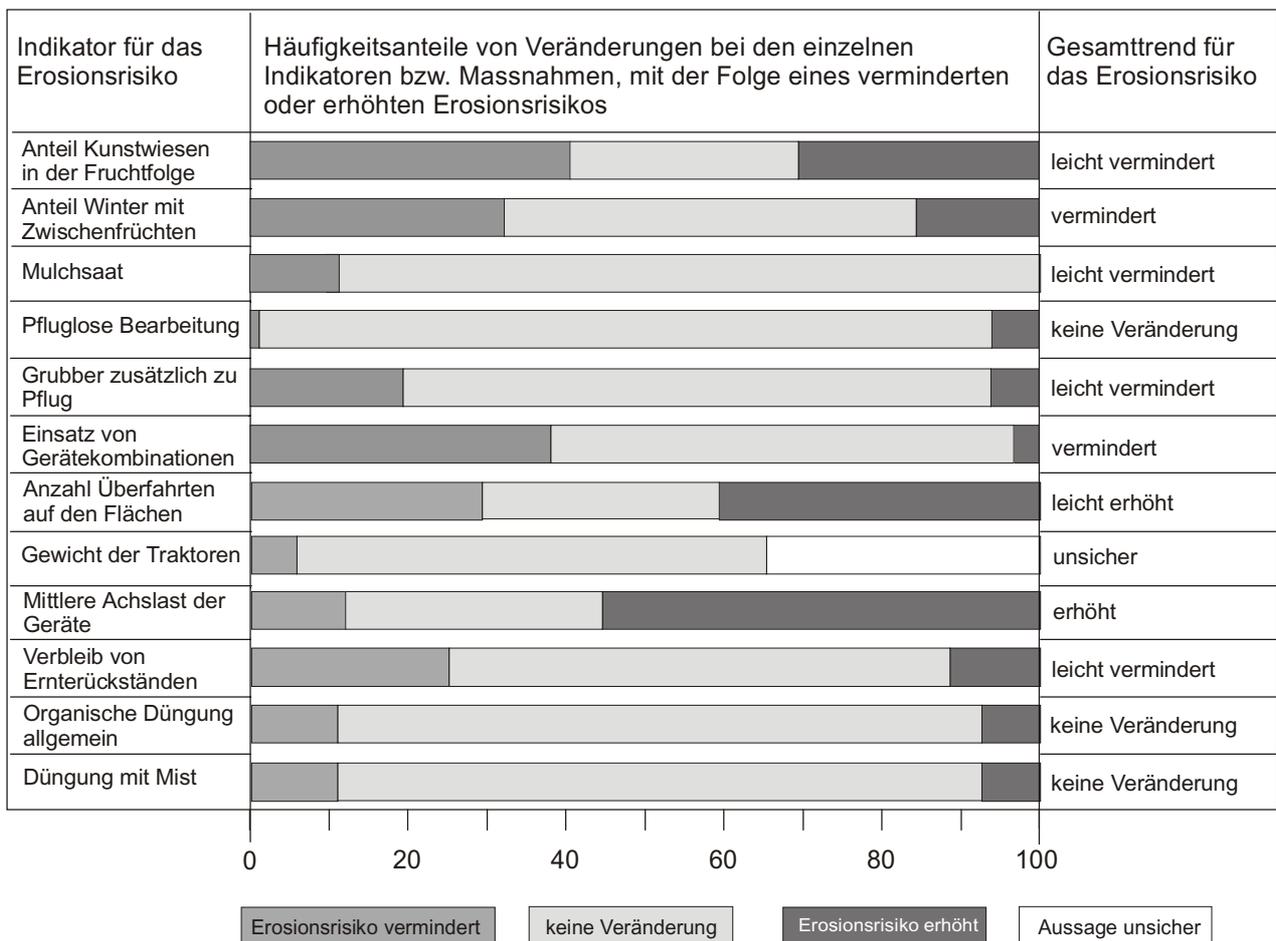


Abb. 11 Indikatoren der Bodenbelastung und Bodenstabilisierung. Trends für das Erosionsrisiko im ganzen Kanton Basel-Landschaft.

Ein Trend bei den einzelnen Indikatoren existiert, wenn der Prozentanteil der Betriebe, in denen sich das Erosionsrisiko als Folge der Entwicklung des Indikators vermindert hat, den Prozentanteil der Betriebe mit erhöhtem Erosionsrisiko übersteigt. Das Gleiche gilt umgekehrt.

Aus Abb. 11 und 12 lassen sich die folgenden Befunde ableiten:

- Der Anteil der Betriebe mit wendender Bodenbearbeitung ist wie bereits festgestellt gleichgeblieben. An Stelle des Pflugs setzen aber mehr Betriebe für die Hauptbodenbearbeitung teilweise auch den Grubber ein. Dies mindert in der Tendenz das Erosionsrisiko, weil mehr organische Substanz an der Oberfläche bleibt und die Infiltration verbessert wird.
- Der Einsatz von Gerätekombinationen ist wegen der damit verbundenen Arbeitsrationalisierung markant häufiger geworden. Dies mindert die Strukturbelastung auf der Fläche, weil z.B. für die Saatbettbereitung ein bis zwei Überfahrten weniger stattfinden. Dieser Effekt bildet sich aber bei der Anzahl der Überfahrten nicht ab. Viele Betriebsleiter gaben eine gestiegene Zahl der Überfahrten an. Allerdings scheinen hier in der Befragung auch Fehleinschätzungen vor-

zuliegen. Eine verbreitete Zunahme der Überfahrten ist nicht plausibel.

Entsprechend dem schon langjährigen Trend sind die Traktorengewichte und Achslasten der Geräte gestiegen. Die mittleren Achslasten der jeweils schwersten eingesetzten Geräte liegen 2002 um 2200 kg bzw. 42% höher als 1992. Vor allem die erheblich höheren Achslasten der Geräte lassen wegen der Druckfortpflanzung in grössere Bodentiefen zusätzliche Strukturschäden und damit in der Tendenz steigende Oberflächenabflüsse erwarten.

Besonders die viel höheren Achslasten und in einigen Fällen auch die höhere Zahl der Überfahrten weisen auf ein gestiegenes Erosionsrisiko hin, das durch die tendenziellen Verbesserungen bei der Bodenbearbeitung nicht kompensiert wird. Für eine Gesamtbetrachtung ist aber der Blick auf entgegenwirkende, also die Standfestigkeit und Stabilität des Bodens erhöhende Faktoren notwendig. Dies geschieht im folgenden Teilkapitel.

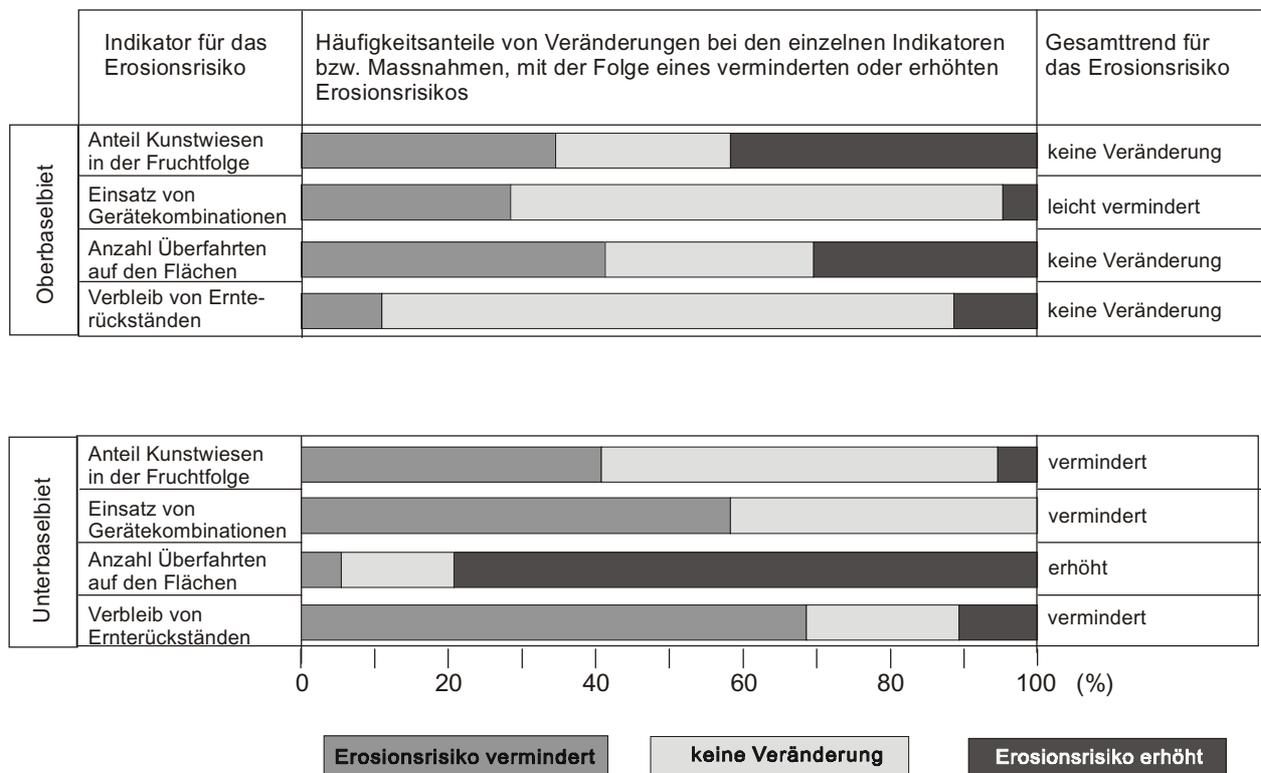


Abb. 12 Indikatoren der Bodenbelastung und Bodenstabilisierung. Unterschiedliche Trends für das Erosionsrisiko im Unter- und Oberbaselbiet.

### 3.2.3 Verbesserung der Bodenstabilität durch Zufuhr organischer Substanz

Zwei Entwicklungen weisen auf eine Verbesserung der Bodenstabilität in vielen Betrieben des Unterbaselbietes hin (Abb. 12):

1. In fast 70% der beobachteten Betriebe verbleiben mehr Ernterückstände als 1992 auf dem Acker.
2. In 40% der beobachteten Betriebe ist der Anteil der Kunstwiesen in der Fruchtfolge gestiegen.

Daraus resultiert in der Tendenz ein Anstieg des Humusgehaltes und damit auch eine erhöhte Krümmenstabilität. Dies steht der gestiegenen mechanischen Belastung gegenüber. Keine Kompensation bringt dagegen die Düngung. Organische Düngung ist gesamthaft nicht häufiger geworden. In vielen Betrieben gab es zwar Veränderungen. In ca. 20% der Betriebe ist die Zufuhr organischer Substanz durch Düngung gestiegen (Abb. 13). Diesen stehen aber fast ebenso viele Betriebe mit abnehmendem Einsatz organischer Düngung gegenüber (Umstellung von Mischbetrieben auf reinen Ackerbau).

Die 10 Betriebe mit verbesserter Zufuhr organischer Substanz liegen zur Hälfte im Unterbaselbiet und Laufental und zur Hälfte im Oberbaselbiet. Es handelt sich in allen Fällen um Mischbetriebe. Alle diese Betriebe düngen nebst Gülle auch mit Mist, teilweise auch mit Kompost. Die Fruchtfolgefaktoren sind dagegen sehr unterschiedlich und streuen über das gesamte vorkommende Spektrum. Ein begrenzter Zusammenhang zwischen vermehrter organischer Düngung und mechanischer Belastung durch die Geräte besteht. 70% der Betriebe mit vermehrtem Einsatz organischer Dünger verwenden Geräte mit im kantonalen Vergleich unterdurchschnittlichen Achslasten. Es gibt also eine kleine Gruppe von Betrieben mit mehreren Merkmalen, die auf eine für die Bodenstruktur günstige Bewirtschaftung und entsprechende Minderung des Erosionsrisikos hinweisen.

### 3.2.4 Hangparallele Bearbeitung

Hangparallele Bearbeitung bremst oberflächlich abfließendes Wasser und begünstigt durch das verlangsamte Fließen und das Zurückhalten von Wasser in den querverlaufenden Bearbeitungsspuren auch die Infiltration. Die Konturbearbeitung kann deshalb je nach Gefälle und Rauheit der

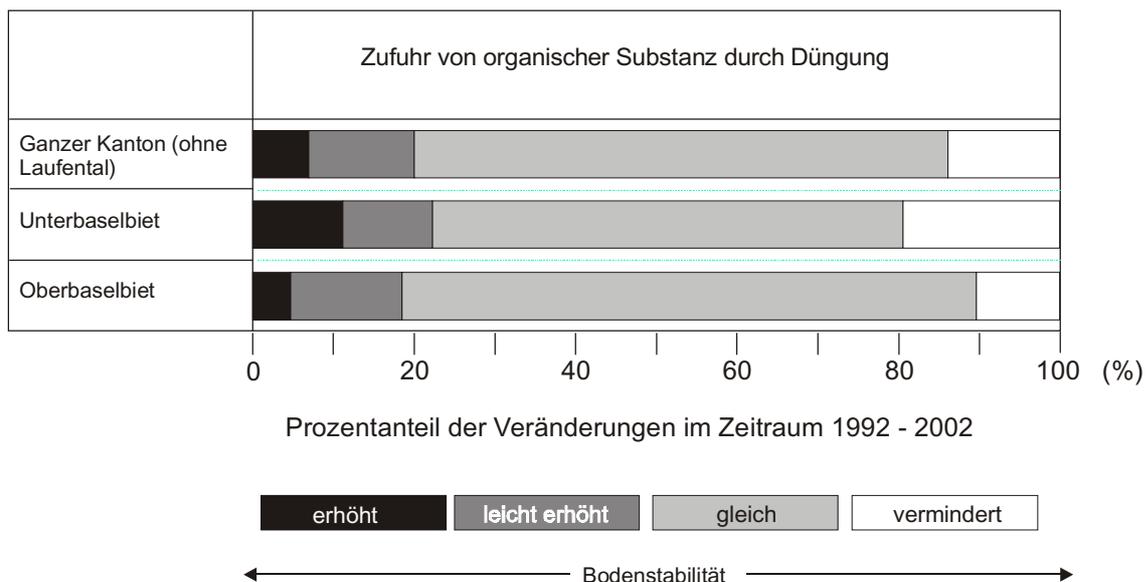


Abb. 13 Trend bei der Bodenstabilität durch Zufuhr organischer Substanz (n= 75 )

Oberfläche (Höhendifferenz der Bearbeitungsstrukturen) die flächenhafte Erosion um bis zu 40% verringern. Sie gehört deshalb zu den wichtigen Schutzmassnahmen.

Im Kanton Basel-Landschaft wurden schon 1992 weniger als 20% der erfassten Bezugspartellen in Gefällerrichtung bewirtschaftet. Unterdessen sank der Anteil der Bearbeitung in Gefällerrichtung in allen beobachteten Gebieten auf wenige Prozent (Abb. 14). Dies ist zunächst ein sehr guter Befund. Es gibt im west- und mitteleuropäischen Ackerbau auch Regionen, in denen noch über 80% aller Partellen hangabwärts bewirtschaftet werden. Ein näherer Blick auf Abb. 14 verlangt allerdings differenziertere Aussagen. Die Bewirtschaftungsrichtung verläuft nämlich in 85-90% aller Fälle schräg zum Hang und nur in max. 10% der Fälle wirklich hangparallel. Dies ist eine Folge der kleinräumig differenzierten Oberflächenformen, der oft auch schräg zum Hang verlaufenden Wege und zum Teil auch der unregelmässigen Partellenformen. Aus diesen Gründen ist eine konsequent

hangparallele Bewirtschaftung in sehr vielen Fällen schwierig bis unmöglich. 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 mehr oder weniger regelmässig geformte Partellen. Bei Partellen mit Mulden sind die Zusammenhänge komplizierter. Hier kann die Querbearbeitung die Erosion sogar verstärken, wenn sich das seitlich in den Bearbeitungsritzen abfliessende Wasser in seiner muldenförmigen Tiefenlinie sammelt und gebündelt abfliesst. Aus diesem Grund ist „100 % Querbearbeitung“ nicht das Ziel des Erosionsschutzes.

### 3.3 Der Faktor Abflussregulierung

Überschüssiges Wasser beeinflusst das Erosionsgeschehen im Kanton Basel-Landschaft auf sehr vielen Partellen. Es handelt sich dabei um sog.

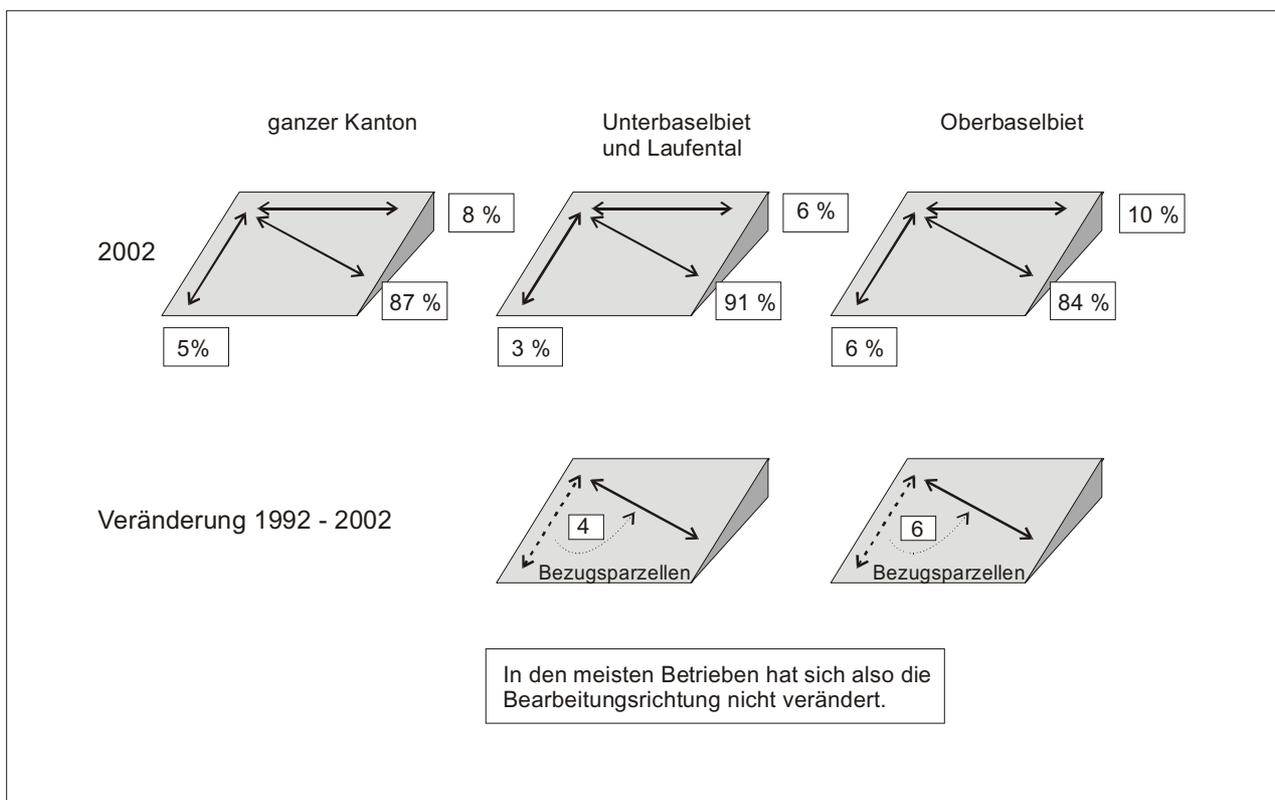


Abb. 14 Bodenbearbeitungsrichtung. Häufigkeiten der Bearbeitung parallel zum Hang, schräg zum Hang und in Gefällerrichtung.

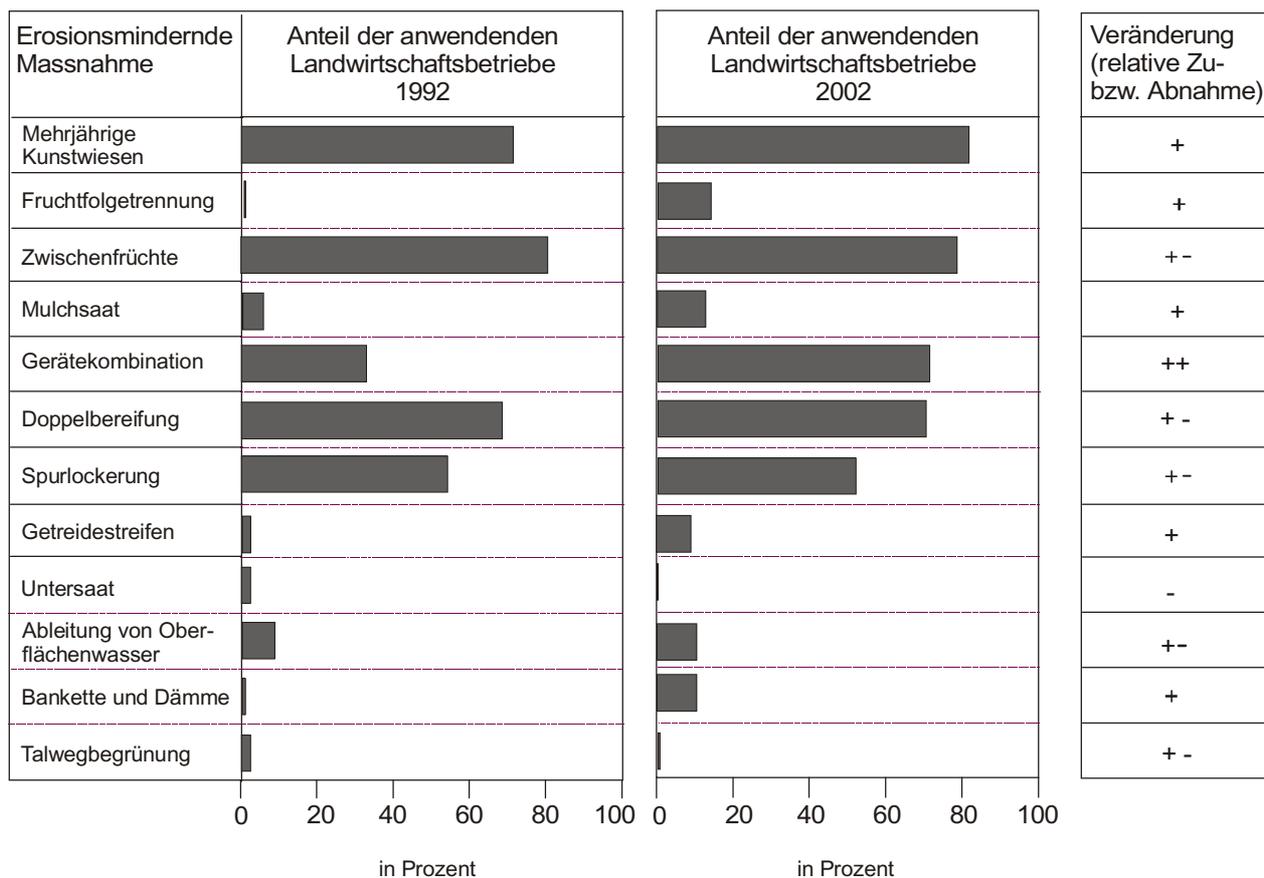


Abb. 15 Übersicht zur Häufigkeit der Anwendung verschiedener erosionsmindernder Massnahmen im Kanton Basel-Landschaft.

Wiesenstreifen sind nicht dargestellt. Sie haben zwar wegen der ÖLN-Auflagen deutlich zugenommen. Sie liegen jedoch mit wenigen Ausnahmen längs der Gewässer, also in Bereichen, wo sie die Bodenerosion nicht beeinflussen können.

Fremdwasser, das von Wegen und oberliegenden Hangbereichen auf die Parzellen fliesst und um Hangwasser, das auf den Parzellen selbst austritt. Dieses Wasser fliesst gebündelt ab und verursacht regelmässig auftretende lineare Erosion.

Auf etwa 80% aller beobachteten Parzellen fliesst häufig oder gelegentlich Wasser von oben zu. Etwa 45 % der Parzellen weisen Hangnässe bzw. abfliessendes Hangwasser auf. Dies hat sich seit 1992 natürlich nicht verändert. Das Gleiche gilt auch für die Massnahmen zur Verminderung des gebündelten Oberflächenabflusses und damit zur Reduzierung der Rinnenerosion. Zu diesen Massnahmen zählen Querfurchen („Wasserfurchen“), Einlaufschächte, Bankette, Mauern, Wiesenstreifen, Getreidestreifen und Hecken. Rund 30 % der Parzellen weisen einzelne oder mehrere dieser ab-

flussmindernden Elemente auf. Dabei handelt es sich wie 1992 meist um einfache Massnahmen wie Querfurchen und Einlaufschächte. Die Bankette und Getreidestreifen haben etwas zugenommen (Abb. 15). Ihre Wirksamkeit ist allerdings oft fraglich.

Die grosse Verbreitung von Fremdwasser und die häufig vorkommende Hangnässe zeigen das Problem des gebündelten Oberflächenabflusses. Etwa jeder fünfte Betriebsleiter versucht, den Abfluss von gebündeltem Wasser gezielt, aber oft mit nur begrenztem Erfolg, zu beeinflussen. Aufwendigere Massnahmen wie Bankette alleine oder Bankette kombiniert mit Wiesenstreifen oder Hecken scheuen die Betriebsleiter aber wegen der Kosten und des Flächenbedarfs.

#### 4. Minderung der Bodenerosion durch die Bewirtschaftung - der Gesamttrend

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

Die Bewirtschaftung einer Parzelle wirkt in vielen Teilbereichen auf die Bodenerosion. Die gesamte Wirkung der Bewirtschaftung auf den Bodenabtrag lässt sich nach heutigem Forschungsstand nicht quantifizieren. Die wichtigen Parameter sind jedoch in ihren Einzelwirkungen mindestens prinzipiell bekannt. Deshalb können die Betriebe mit Hilfe eines Bewertungsverfahrens indexiert und nach dem Grad der erosionsvermindernden Wirkung der Bewirtschaftung eingestuft werden.

Der Massnahmenindex berücksichtigt die Fruchtfolge (C-Faktoren), die mechanische Belastung des Bodens, die Zufuhr organischer Substanz zur Krümmenstabilisierung sowie die Verminderung und Bremsung des Oberflächenabflusses. Für diese einzelnen Massnahmenbereiche werden auf der Basis von Einzelindikatoren Punktzahlen ermittelt (siehe Mosimann 1994). 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 auf keiner Parzelle das volle Massnahmenpotential ausgeschöpft wird.

Die errechneten Indizes erlauben keine Quantifizierung der erosionsschützenden Wirkung der Bewirtschaftung. Sie gestatten jedoch

- eine Relativeinstufung der Betriebe im Gesamtspektrum des Kantons,
- eine Beurteilung regionaler Unterschiede,
- die Erfassung des Zusammenhangs zwischen Erosionsgefährdung und Massnahmen und

- das Nachzeichnen der Gesamtentwicklung der erosionsschützenden Wirkung der Bewirtschaftung.

##### 4.2 Wie haben sich die Massnahmenindizes gesamthaft entwickelt?

Die Massnahmenindizes sind im Durchschnitt leicht angestiegen (Abb. 16). Die erosionsschützende Wirkung der Bewirtschaftung hat sich in der Gesamtbilanz also leicht verbessert. Die Mittelwerte liegen im Oberbaselbiet etwa 6 Punkte und im Unterbaselbiet etwa 4 Punkte höher als 10 Jahre vorher. Die Mittelwertsunterschiede der Jahre 1992/2002 sind aber statistisch nicht signifikant (5%-Niveau, U-Test). Das Spektrum der Werte weitet sich aus, d.h. die Unterschiede zwischen den Betrieben mit der niedrigsten und höchsten bodenschützenden Wirkung der Bewirtschaftung sind eher grösser geworden. Massnahmenindizes über 70 werden aber deutlich häufiger erreicht (über 20% aller Betriebe im Vergleich zu ca. 10 % im Jahr 1992).

In der Gesamtbilanz ergibt sich also im Unter- und Oberbaselbiet eine tendenzielle Steigerung der erosionsschützenden Wirkung der Bewirtschaftung, aber keine grundlegende und statistisch gesicherte Verbesserung. Der Unterschied zwischen den beiden Regionen ist etwa gleich gross geblieben. Noch immer liegen die mittleren Massnahmenindizes im Unterbaselbiet etwa 25% niedriger als im Oberbaselbiet.

Die aktuelle Situation im Laufental ist mit dem Unterbaselbiet vergleichbar. Es gibt keinen statistisch signifikanten Unterschied bei den mittleren Massnahmenindizes. Zur Entwicklung seit 1992 sind für das Laufental wegen der Unsicherheit bei den rückblickenden Angaben zur Bewirtschaftung vor 10 Jahren keine eindeutigen Aussagen möglich. Vermutlich hat sich aber der bodenschützende Effekt der Bewirtschaftung auch seit 1992 kaum verändert.

Zum leichten Anstieg der erosionsschützenden Wirkung der Bewirtschaftung trug etwa die Hälfte der Betriebe bei. In diesen Betrieben hat sich der Massnahmenindex eindeutig erhöht (Abb. 17). Nur in etwa 10% der Betriebe sank er ab. Die übrigen Betriebe liegen im Streubereich etwa gleichbleibender Werte. Die Biobetriebe erreichen im Durchschnitt keine höheren Massnahmenindizes als die konventionell wirtschaftenden ÖLN-Betriebe. Biobetriebe erreichen also keinen besseren Erosionsschutz. Es gibt zudem gesamthaft keinen Zusammenhang zwischen der Verbesserung des Massnahmenindizes eines Betriebes und der Erosionsgefährdung seiner Bezugspartellen. Die Verbesserung ist also nicht das Ergebnis einer gezielten Anpassung der Bewirtschaftung auf besonders erosionsgefährdeten Partellen.

Im Oberbaselbiet resultiert der leichte Anstieg der erosionsschützenden Wirkung der Bewirtschaftung fast ausschliesslich aus der geringeren Bodengefährdung durch die Fruchtfolgen (Tab. 2, Abb. 2-4). Die Fruchtfolgefaktoren sind in dieser Bewirtschaftungsregion deutlich gesunken. Bei den anderen Massnahmenbereichen ergeben sich dagegen nur geringfügige Veränderungen oder positive und negative Entwicklungen halten sich gesamthaft die Waage. Zwischen Veränderungen beim Fruchtfolgefaktor und Verbesserungen in anderen Massnahmenbereichen besteht zudem in der Regel kein Zusammenhang. Betriebe mit Verbesserungen in allen Bereichen gibt es also nicht.

Im Unterbaselbiet resultiert der geringfügige Anstieg der Massnahmenindizes dagegen vor allem aus der Abflussregulierung und der Änderung der Bearbeitungsrichtung auf einigen Bezugspartellen (siehe Abb. 14). Abflussregulierende Elemente sind hier im Vergleich zu 1992 etwas häufiger anzutreffen. Nur eine geringfügige Verbesserung in der Gesamtbilanz der erosionsschützenden Massnahmen brachten die im Mittel etwas niedrigeren C-Faktoren.

Was hat sich in Betrieben mit abnehmendem Massnahmenindex und damit verschlechtertem Erosionsschutz vor allem verändert? Im Unterbaselbiet sind dies Betriebe, die auf reinen Ackerbau mit Feldgemüse in der Fruchtfolge umgestellt

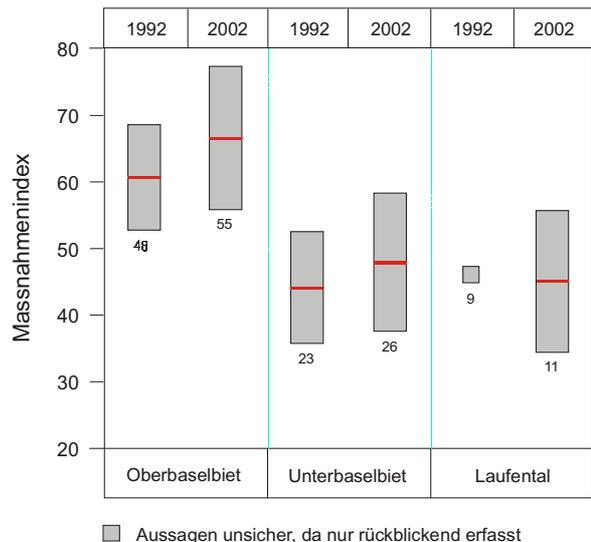


Abb. 16 Ausmass der erosionsschützenden Wirkung der Bewirtschaftung: Mittelwerte und Standardabweichungen der Massnahmenindizes in den verschiedenen Regionen des Kantons Basel-Landschaft

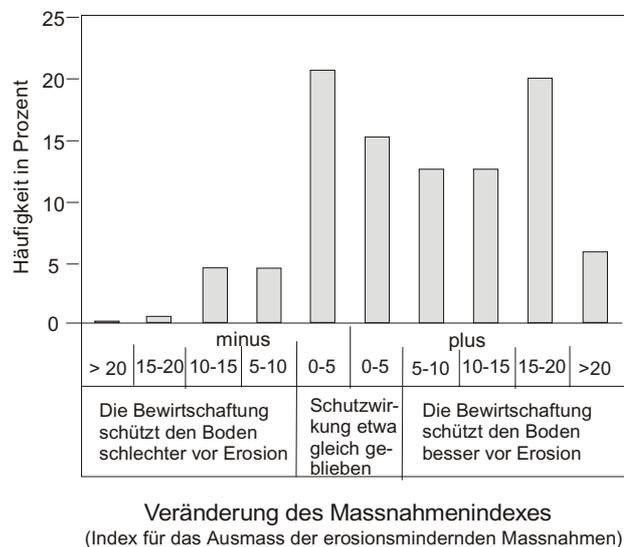


Abb. 17 Häufigkeitsverteilung der Veränderungen beim Index für die erosionsschützende Wirkung der Bewirtschaftung im Kanton Basel-Landschaft

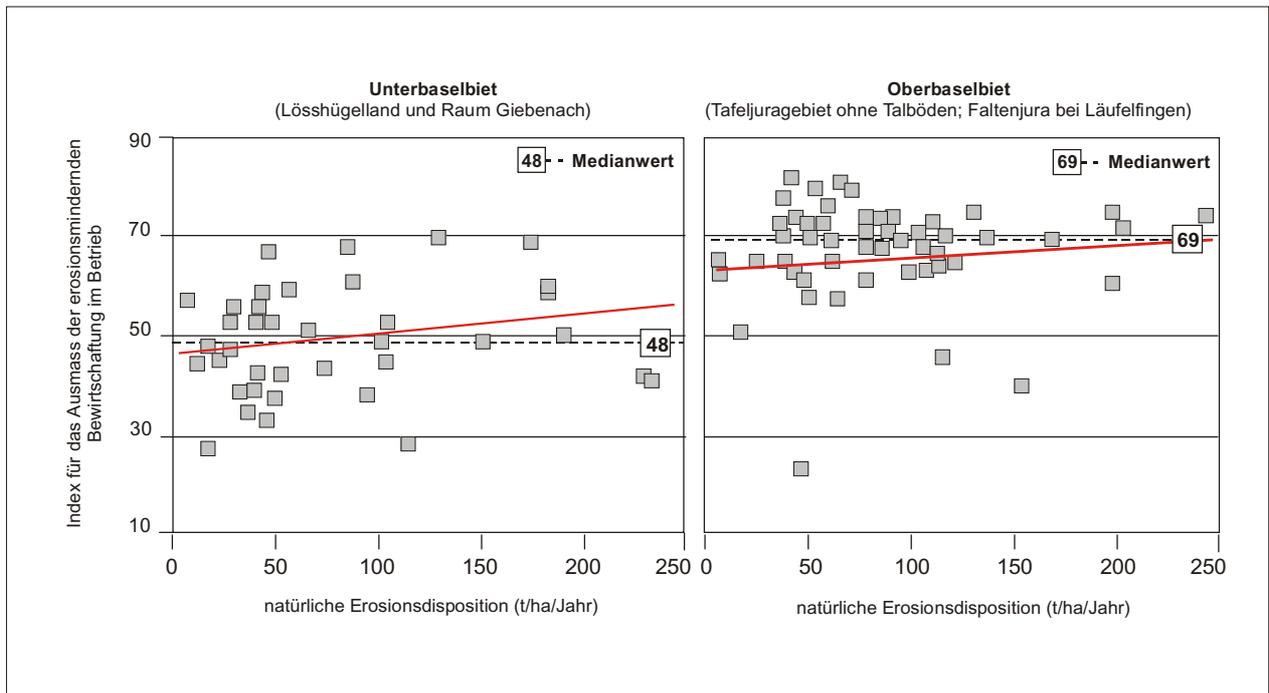


Abb. 18 Abhängigkeit des Massnahmenindex von der natürlichen Erosionsdisposition

haben und zum Teil nur noch mineralisch düngen. Im Oberbaselbiet dagegen handelt es sich um wenige Betriebe mit bisher hohem Massnahmenindex, die den Kunstwiesenanteil in der Fruchtfolge reduzierten.

#### 4.3 Orientiert sich die Bewirtschaftung besser an der Erosionsdisposition?

Abb. 6 in Kap. 3.1.4 zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Gefälle der Bezugsparzellen und den Fruchtfolgefaktoren. Die Erosionsgefährdung durch die Fruchtfolgen nimmt mit steigendem Gefälle ab. Dieser Effekt schlägt aber beim Zusammenhang zwischen der natürlichen Erosionsdisposition und den Fruchtfolgefaktoren viel weniger klar durch (Abb. 7). Wie sieht es nun beim Massnahmenindex aus, der noch weitere Aspekte der Bewirtschaftung berücksichtigt? Abb. 18 demonstriert das Ergebnis. Es gibt wie im Jahr 1992 noch immer keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Gestaltung der Bewirtschaftung und der Erosionsdisposition. Die

Streuung der Werte ist genauso gross wie 1992. Trotzdem wird auf Abb. 18 ein schwacher Trend tendenziell niedrigerer Massnahmenindizes bei niedrigerer Erosionsdisposition erkennbar. Dieser resultiert aus folgendem Zusammenhang: Niedrigere Massnahmenindizes kommen auf Parzellen im unteren Bereich der natürlichen Erosionsdisposition häufiger vor. Eine solche geringere Schutz-

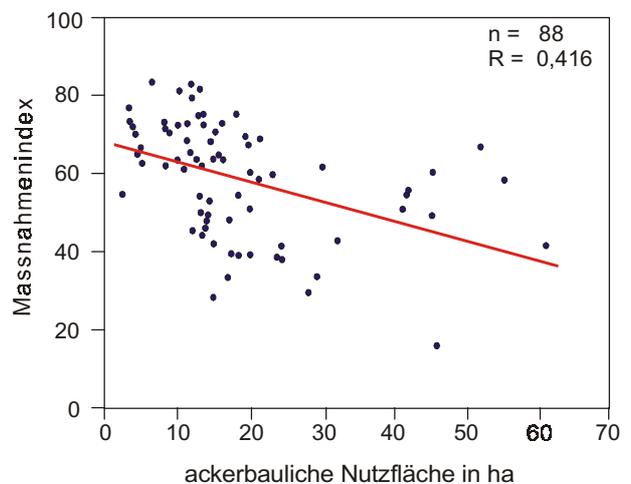


Abb. 19 Abhängigkeit des Massnahmenindex von der Grösse der ackerbaulichen Nutzfläche der einzelnen Betriebe

wirkung der Bewirtschaftung weisen eher grössere Betriebe auf (siehe Abb. 19), die überwiegend gering bis mittel geneigte Parzellen mit entsprechend begrenzter Erosionsgefährdung bewirtschaften. Bei den ganz steilen Parzellen, die unabhängig von der Art des Bodens hohe natürliche Erosionsgefährdungen aufweisen, sind dagegen Fruchtfolgen mit eher niedrigen C-Faktoren und damit Bewirtschaftungssysteme mit eher hohen Massnahmenindizes überproportional vertreten.

Die bei den Fruchtfolgefaktoren schon festgestellte leichte Anpassung der Bewirtschaftung an die Erosionsdisposition im Verlauf der letzten zehn Jahre ist also nicht die Folge gezielter Massnahmen gegen die Bodenerosion. Sie resultiert vielmehr aus Strukturveränderungen, die sich in einem Rückgang des Ackerbaus in steileren Lagen äussern.

## 5. Die Entwicklung der Erosionsgefährdung seit 1992

Wie wirken sich die dargestellten Trends der Bewirtschaftung auf die aktuelle Erosionsgefährdung aus? Wie bereits erläutert lassen sich nicht alle der dargestellten Aspekte und Elemente der Bewirtschaftung in ihrer Wirkung auf die mittleren Abtragsbeträge quantifizieren. So ausgereift sind die heute verfügbaren Erosionsmodelle noch nicht. Dies gilt besonders auch für die Allgemeine Bodenabtragsgleichung in ihrer revidierten Form (RUSLE, Renard et. al. 1997) und für ihre Ergänzungen. Weil aber dieses Modell für die Abschätzung mittlerer Abtragsbeträge und damit die Abbildung des Standes der Gefährdung geeignet ist, wird es auch hier für die Berechnung der Erosionsgefährdung der Bezugsparzellen verwendet. Folgende Auswirkungen der Bewirtschaftung fliessen dabei in die Berechnungen ein: Fruchtfolgen (Haupt- und Zwischenkulturen), Winterbedeckung, Brachezustände, Mulchsaat, allgemeine Intensität der Bodenbearbeitung, Bearbeitungsrichtung und die sich aus der Parzellenlage und -grösse ergebende Länge der Fließstrecke des Wassers (Hanglänge). Nicht berechnen lassen sich dagegen die Effekte der mechanischen Belastung des Bodens, der Gefügestabilisierung durch die Zu-

fuhr organischer Substanz und der Ableitung von Oberflächenwasser.

Die Berechnungen der aktuellen Erosionsgefährdung berücksichtigen nebst dem flächenhaften Abtrag auch die lineare Erosion durch Zuschläge für Fremdwasserzufluss, Hangwasseraustritte und abflussbündelnde Tiefenlinien.

### 5.1 Der Trend bei der aktuellen Erosionsgefährdung (Tab. 3)

#### *Oberbaselbiet*

Die mittlere flächenhafte Erosionsgefährdung der beobachteten Bezugsparzellen hat abgenommen (Tab. 3). Der Rückgang seit 1992 beträgt etwa 25% und ist damit statistisch signifikant. Der Gesamttrend ist ziemlich einheitlich. Dies zeigen die geringen Unterschiede der Mittel- und Medianwerte und die etwa gleiche Abnahme dieser Werte. Bei den Maxima hat sich nichts verändert. Die Parzellen mit einer Zunahme der Erosionsgefährdung überschreiten also die bisher festgestellten Maximalwerte der aktuellen Gefährdung nicht.

Der Rückgang der Erosionsgefährdung resultiert im wesentlichen aus den überwiegend und zum Teil stark gesunkenen Fruchtfolgefaktoren (Kap. 3.1, Tab. 2, Abb. 3). Er ist das Ergebnis des bereits in Kap. 3.1 erwähnten strukturellen Wandels mit einem Rückgang intensiver Ackerkulturen zu Gunsten von Kunstwiese, Buntbrachen und in einigen Fällen auch Dauergrünland. Die Bodenbedeckung hat sich damit in vielen Betrieben deutlich verbessert. In 10% der Betriebe verlief dagegen die Entwicklung umgekehrt. In diesen Betrieben nahm der Schutz der Bodenoberfläche durch die Kulturen ab und die Erosionsgefährdung stieg demzufolge an.

#### *Unteraselbiet und Laufental*

Die mittlere Erosionsgefährdung ist etwa gleich geblieben. Die Entwicklung verlief aber weniger einheitlich als im Oberbaselbiet. Dies zeigt der abweichende Trend bei den Mittel- und Median-

werten. Auf der Mehrheit der Bezugspartellen ging die Erosionsgefährdung etwas zurück (tiefer liegender Medianwert). Diesen stehen aber Partellen mit erheblicher Zunahme gegenüber, wie dies auch die viel höheren Maxima illustrieren.

Es gibt im Unterbaselbiet keinen Grundtrend der Bewirtschaftungsentwicklung, der sich in der Gesamtbilanz der Erosionsgefährdung abzeichnet. Die Veränderungen in den einzelnen Betrieben sind vielfältiger. Positive und negative Entwicklungen für die Erosionsgefährdung heben sich gesamthaft auf. Allerdings ist in einer Mehrheit der Betriebe die Gefährdung etwas gesunken und in einer Minderheit deutlich gestiegen.

Die Böden des Unterbaselbieter Hügellandes und des Jurarandes sind wegen der Lössvorkommen viel stärker erosionsgefährdet als die Oberbaselbieter Böden. Im Jura stehen dem aber mehr steile Partellen und eine viel häufigere Gefährdung

durch Fremdwasser und Hangwasseraustritte gegenüber. Mit Ausnahme der deutlich weniger gefährdeten Tafeljurahochflächen besteht deshalb gesamthaft keine wesentlicher 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.

Im Laufental erreicht die mittlere Erosionsgefährdung der beobachteten Bezugspartellen gemessen an der hohen Erosionsanfälligkeit der ebenfalls lössbeeinflussten Böden eher niedrige Werte. Dies liegt am durchschnittlich geringeren Gefälle der Partellen im Laufener Becken.

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

\* alle erfassten Bezugspartellen

Tab. 4 Entwicklung der aktuellen Erosionsgefährdung auf den beobachteten Bezugspartellen 1992 - 2002

Die Zahlen zeigen die Trends für die beobachteten Bezugspartellen. Diese repräsentieren Betriebe mit erosionsgefährdeten Flächen. Es sind deshalb keine Durchschnittswerte für die ganze Region.

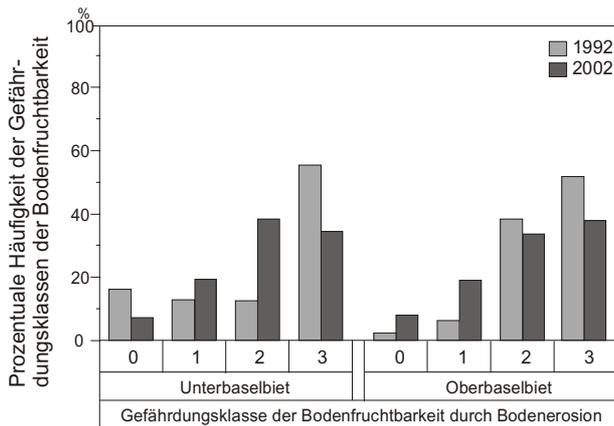


Abb. 20 Entwicklung der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch die Bodenerosion: Häufigkeit der Gefährdungsklassen der beobachteten Bezugspartellen im Jahr 2002 im Vergleich zu 1992 (Unter- und Oberbaselbiet).

## 5.2 Der Trend bei den Gefährdungsklassen der Bodenfruchtbarkeit

Die geschilderte Entwicklung bildet sich natürlich auch bei der Verteilung der Gefährdungsklassen der Bodenfruchtbarkeit ab (Abb. 20). Im Oberbaselbiet nahmen die Anteile der Bezugspartellen in Gefährdungsklassen 3 und 2 ab. Es fand eine merkbare Verschiebung in die weniger kritische Klasse 1 und in die Zielklasse 0 (keine Gefährdung) statt. Der Anteil der Partellen, für die kurz- und mittelfristig gezielte Schutzmassnahmen notwendig sind, hat also abgenommen. Im Unterbaselbiet ging zwar der Anteil der stark gefährdeten Partellen (Klasse 3) ebenfalls zurück. Es gibt aber keine allgemeine Verschiebung der Gefährdung nach unten, sondern mehr eine Konzentration in Gefährdungsstufe 2. Der Anteil der Partellen, für die Schutzmassnahmen notwendig sind, hat also nicht abgenommen. Nur die Dringlichkeit ging etwas zurück.

Auf Partellen mit den Gefährdungsklassen 2 und 3 sind zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und damit auch der langfristigen Ackerfähigkeit weitere Anpassungen der Bewirtschaftung bzw. einzelne Schutzmassnahmen notwendig. Der Anteil

dieser Partellen ist im Unter- und Oberbaselbiet trotz der im Mittel unterschiedlichen aktuellen Erosionsgefährdung gleich gross. Dies liegt an der unterschiedlichen Gründigkeit der Böden. Auf den überwiegend flachgründigeren Böden im Oberbaselbiet besteht ein geringerer Spielraum der vorläufig noch akzeptierbaren Bodenabträge.

## 6. Folgerungen für den Bodenschutz und die Beratung

### 6.1 Der Problemstand Bodenerosion: Welche Schlüsse lässt das Monitoring 2002 zu?

Die Auswertung der Bewirtschaftungsbefragung 2002 zeigt einige für den Schutz des Bodens positive Entwicklungen. Dazu gehört der Rückgang der mittleren Fruchtfolgefaktoren im Oberbaselbiet, die Zunahme extensiver Bodenbearbeitungssysteme und der Mulchsaat, der etwas bessere Schutz der Bodenoberfläche im Winter und das Verbleiben von mehr Ernterückständen. Positiv fällt auch ins Gewicht, dass bei der Bilanzierung der Entwicklung, z.B. bei den Fruchtfolgefaktoren und den Massnahmenindizes, jeweils die Mehrheit der Betriebe eine Verbesserung aufweist und nur die Minderheit eine Verschlechterung. Insgesamt haben sich die Schutzmassnahmenindizes leicht erhöht. Im Oberbaselbiet ging als Folge dieser positiven Veränderungen der Bewirtschaftung auch die Erosionsgefährdung im Mittel um etwa 20 % zurück. Im Unterbaselbiet und im Laufental ist sie dagegen etwa gleichgeblieben.

Die für den Schutz des Bodens positiven und negativen Veränderungen der Bewirtschaftung haben sich aber in vielen Betrieben auf. Eine Minderheit der Betriebe gefährdet den Boden sogar stärker als 1992. Es gilt noch immer: Auf hochgerechnet etwa einem Fünftel der ackerbaulich genutzten Flächen sind weitere Anpassungen der Bewirtschaftung und/oder besondere Schutzmassnahmen notwendig.

Der aktuelle Problemstand Bodenerosion lässt sich im Hinblick auf die Beratung wie folgt zusammenfassen:

- Die Fruchtfolgefaktoren im Unterbaselbiet stagnieren. Sie sind gemessen an der Erosionsanfälligkeit der Böden in vielen Betrieben zu hoch.
- In etwa 25% der Betriebe im Unterbaselbiet und etwa 10% der Betriebe im Oberbaselbiet liegen die Fruchtfolgefaktoren trotz bestehender Erosionsgefährdung deutlich höher als 1992.
- Elf Betriebe haben den Anteil an Mais oder Mais und Rüben in der Fruchtfolge um 10-40 % erhöht, bauen aber unverändert konventionell anstatt konservierende Verfahren einzuführen.
- Es werden noch immer Parzellen mit mehr als 10% Gefälle mit hohen Fruchtfolgefaktoren um 0,2 bewirtschaftet.
- Die Fruchtfolgefaktoren und insbesondere die Anwendung der Mulchsaatchechnik orientieren sich nicht an den Hanglängen und der Erosionsanfälligkeit der Böden.
- Im Maisanbau ist die Mulchsaatchechnik zwar auf dem Vormarsch, aber noch viel zu wenig verbreitet.
- Die höhere mechanische Belastung wird nur begrenzt durch gefügestabilisierende Massnahmen kompensiert.
- Die Bewirtschaftung erfolgt überwiegend oder mehr oder weniger quer zum Hang. Sie verläuft aber überwiegend schräg statt parallel zum Hang. Dadurch geht etwa die Hälfte des Schutzeffektes der Querbearbeitung verloren.
- Abflussregulierende Massnahmen werden zu wenig eingesetzt.
- Zu wenig Betriebe nutzen die Möglichkeiten einer Fruchtfolgetrennung auf den gefährdeten und weniger gefährdeten Flächen.

- Es gibt noch immer keinen Zusammenhang zwischen der erosionsmindernden Wirkung der Bewirtschaftung und der Erosionsdisposition. Dies gilt auch für die Intensität des Bodenbearbeitungssystems.
- In einer Reihe von Betrieben hat sich trotz der Einführung des ökologischen Leistungsnachweises die Erosionsgefährdung erhöht.
- Betriebe mit biologischer Bewirtschaftung erreichen im Durchschnitt keinen besseren Erosionsschutz als die ÖLN-Betriebe.

## 6.2 Folgerungen für die Beratung

Das Problem Bodenerosion konzentriert sich stärker regional (Unterbaselbiet, Laufental) und auf einzelne Betriebe als vor zehn Jahren. Das Gesamtbild des Problemstandes bei der Bodenerosion (Kap. 6.1) lässt sich zudem wie folgt charakterisieren:

- Die praktizierten Massnahmen zielen noch immer zu wenig auf die besonders gefährdeten Parzellen ab.
- Erprobte und auch betriebswirtschaftlich machbare Massnahmen werden zu wenig genutzt.
- Moderne Techniken der Bodenbearbeitung sind zu wenig verbreitet.
- Betriebe, die ganz auf Ackerbau umstellen, sind teilweise mit für sie neuen Problemen konfrontiert.

Dies alles weist darauf hin, dass der Weg zu einem verbesserten Erosionsschutz vor allem über eine gezieltere Beratung der einzelnen Betriebe führen muss. Dazu gibt es eine ganze Reihe von Ansatzpunkten:

1. Bodenschonende Anbaumethoden und besonders die Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung müssen besser bekannt gemacht

- werden. Dabei empfiehlt sich eine regionale Konzentration auf das Unterbaselbiet, das Lauental und das Gebiet Giebenach-Arisdorf. Besonders geförderte Pilotbetriebe sollten in diesen Kantonsteilen angesiedelt werden.
2. Es ist wichtig zu demonstrieren, dass die Mulchsaat von Mais ohne Ertragseinbussen möglich ist. Erfahrungen der Pilotbetriebe hierzu sollten aktiv vermittelt und der Erfahrungsaustausch gefördert werden.
  3. Vor allem in Betrieben mit steileren Flächen sollte die Beratung unbedingt auf die vermehrte Anwendung der Fruchtfolgetrennung hinwirken. Fruchtfolgetrennung bedeutet Absenken des Anteils erosionsgefährdeter Kulturen auf den steileren Parzellen und entsprechende Erhöhung auf den flachen Parzellen. Dies lässt sich in vielen Betrieben ertragsneutral und ohne weitergehende Veränderungen der Bewirtschaftung umsetzen.
  4. Betriebe, die mit der Milchwirtschaft aufhören und völlig auf Ackerbau umstellen, sollten in der Umstellungsphase besonders begleitet werden. Hierbei geht es um die Sensibilisierung für das Ausmass der Bodenerosion, Hinweise auf die Möglichkeiten moderner bodenschonender Anbautechniken und um die besondere Anpassung der Bewirtschaftung auf den steilen Parzellen.
  5. Kunstwiesen und Buntbrachen sollten gezielter auf den besonders erosionsgefährdeten Parzellen plaziert werden. Im Minimum geht es darum, den Erosionsschutz in die Überlegungen bei der Wahl der Parzellen miteinzubeziehen.
  6. Die ÖLN-Kontrolleure sollten verstärkt für die Bodenerosion und den besonderen Problemstand im Kanton Basel-Landschaft sensibilisiert werden. Ziel ist es, auch im Rahmen der ÖLN-Kontrolle besonders gefährdete Parzellen zu erkennen und auf die möglichen Massnahmen hinzuweisen.
  7. Generell sollte geprüft werden, wie sich die ÖLN-Kontrolle in Zukunft besser nutzen lässt, um Betriebe mit Erosionsproblemen zu ermitteln. Dazu gehören besonders auch Betriebe, deren Bewirtschaftung sich in Richtung einer Verstärkung der Erosionsgefährdung entwickelt. Ziel ist es, in kritischen Fällen mit dem Betriebsleiter Verbesserungsvorschläge für die Bewirtschaftung zu erarbeiten und diesen Prozess mit der ÖLN-Kontrolle anzuschließen. Eine Einstufung, ob Beratung für Erosionsschutzmassnahmen nötig ist oder nicht, könnte in Zukunft die Frage nach beobachtbarer Erosion, die in der Praxis ohnehin Probleme bereitet, ersetzen oder ergänzen.
  8. Gefährdete Parzellen müssen gezielter und besser erkannt werden. Deshalb ist es wichtig, den Bodenerosionsschlüssel in den Betriebsleiterkursen zu schulen. Der Schlüssel sollte einen festen Platz im Kursprogramm bekommen.

## 7. 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 Bodenabtragungsgleichung (ABAG). In: Z. f. Kulturtechnik u. Landentwicklung, 33, S. 137-144

Buchner, W. & K. Köller (1990): Integrierte Bodenbearbeitung. Stuttgart, 126 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
- Koordinationsgruppe Richtlinien Deutschschweiz (KIP) (2002): Richtlinien für den Ökologischen Leistungsnachweis 2002, gültig für die Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt. = Richtlinien OeLN 2002 BL 06.02.2002/A.G.
- Mosimann, Th. (1998): Bodenerosion im Bodenschutzvollzug. In: Bodenerosion. Analyse und Bilanzen eines Umweltproblems, hrsg. v. G. Richter, Darmstadt, S. 171-184
- Mosimann, Th. (1994): Bodenerosion im Kanton Basel-Landschaft. Aktueller Stand, Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, Thesen zur Erhaltung der Böden, weiteres Vorgehen. hrsg. v. Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft, Liestal, 31 S.
- Mosimann, Th. & M. Rüttimann (1996): Abschätzung der Bodenerosion und Beurteilung der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit. Grundlagen zum Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. Liestal, 40 S.
- Mosimann, Th. & M. Rüttimann (1995): Bodenerosion selber Abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. hrsg. v. Volkswirtschafts- und Sanitätsdirektion des Kantons Basel-Landschaft, 17 S.
- Mosimann, Th. 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. & K. Grünig (2001): Evaluation der Ökomassnahmen Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. = Schriftenreihe der FAL, Nr. 37, 152 S.
- Rüttimann, M. (2001): Boden-,Herbizid- und Nährstoffverluste durch Abschwemmung bei konservierender Bodenbearbeitung und Mulchsaat von Silomais. Vier bodenschonende Anbauverfahren im Vergleich. = Physiogeographica, Band 30, Basel, 241 S.
- Rüttimann, M. & Th. Mosimann (1999): Erosionsschutz im Landwirtschaftsbetrieb. Gefährdungsschätzung und Entwicklung von Massnahmenplänen am Beispiel von drei Fallstudien im Kanton Basel-Landschaft. = Vollzug Umwelt, Praxishilfe. hrsg. vom Bundesamt für Umwelt, Wald, und Landschaft, Bern, 150 S.
- Salm, Chr. & St. Häusler (1997): Bodenverträglichkeit von Landmaschinen. Erarbeitung und Anwendung eines Kriterienkatalogs. Liestal, Zollikofen, Solothurn, 26 S.
- Schwertmann, U. et. al. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmassnahmen. Stuttgart (Ulmer), 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
- United State Department of Agriculture (ed.) (1997): Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington, 384 S.