

Evaluation Ökomassnahmen

Phosphorverluste durch Bodenerosion

Kaspar Grünig und Volker Prasuhn, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich

Auskünfte: Volker Prasuhn, e-mail: volker.prasuhn@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 71 45

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der Evaluation der Ökomassnahmen werden in einer Fallstudie in der Region Frienisberg (BE) Zusammenhänge zwischen den Ökomassnahmen in der Landwirtschaft und der Phosphorbelastung der Gewässer durch Bodenerosion aufgezeigt. Gemäss Modellberechnungen haben sich die langjährige Erosionsgefährdung und damit auch die Phosphorbelastung der Gewässer durch Bodenerosion 1998-99 aufgrund von Veränderungen der Fruchtfolgen und Bewirtschaftungsverfahren gegenüber 1987-89 um etwa 27 % vermindert. Die im Feld gemessenen Bodenabträge haben in der Periode 1998-99 dagegen um rund 22 % gegenüber 1987-89 zugenommen. Hierfür sind allerdings die aussergewöhnlichen klimatischen Bedingungen der Periode 1998-99 verantwortlich.

In einem vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) an die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) in Auftrag gegebenen Projekt sollen in einer Fallstudie Zusammenhänge zwischen den Ökomassnahmen in der Landwirtschaft und der Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion aufgezeigt werden (Braun

et al. 1998). Dabei wurde von folgender Hypothese ausgegangen: Nimmt die Bodenerosion in einem Gebiet ab, dürfte auch der Materialeintrag in ein Gewässer in einer ähnlichen Grössenordnung abnehmen und damit auch die Gewässerbelastung mit Phosphor durch Bodenerosion. Mit der Region Frienisberg (BE) wurde ein repräsentatives Ackerbaugebiet ausgewählt, in

dem Daten über die Bodenerosion und die Bewirtschaftung aus der Periode 1987-89 - also vor Einführung der Ökomassnahmen - aus dem Nationalen Forschungsprogramm Boden (NFP 22) vorlagen (Mosimann et al. 1990, 1991; Rohr 1999).

Zum Einen werden seit Herbst 1997 regelmässig flächendeckende Erosionsschadenskartierungen im Feld durchgeführt und unter Berücksichtigung der Witterungsbedingungen und Landnutzung mit den Resultaten der nach dem gleichen Verfahren erfolgten Erosionsschadenskartierungen der Periode 1987-89 verglichen. Zum Anderen erfolgen Modellberechnungen zur Erosionsgefährdung für die Periode 1987-89 und heute, unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzung und Bewirtschaftung. Auch hier soll der Vergleich Veränderungen aufzeigen.

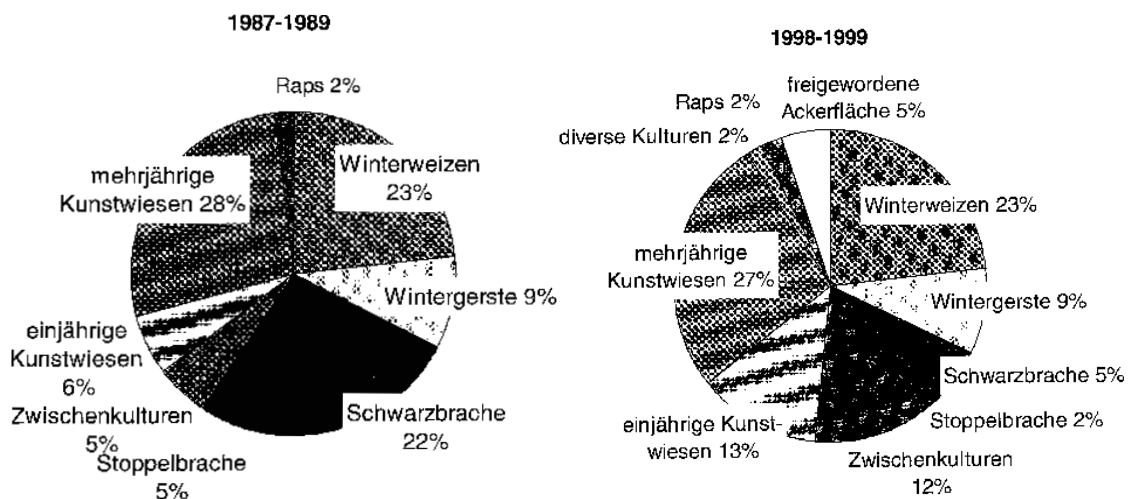


Abb.1. Winterbedeckung der Ackerfläche 1987-89 und 1998-99.

Agrarpolitische Rahmenbedingungen

Voraussetzung für den Bezug von Direktzahlungen ist seit 1993 die Einhaltung verschiedener Ökomassnahmen beziehungsweise seit 1999 der ökologische Leistungsnachweis (ÖLN). Von den im ÖLN festgelegten Ökomassnahmen haben im Zusammenhang mit der Phosphorbelastung der Gewässer durch Bodenerosion vor allem folgende eine Bedeutung:

- **geeigneter Bodenschutz**

Betriebe müssen einen festgelegten durchschnittlichen flächengewichteten Bodenschutz-Index einhalten, der aus dem Bodenbedeckungsgrad der einzelnen Kulturen und Anbauverfahren berechnet wird, und es müssen spezielle Erosionsschutzmassnahmen ergriffen werden.

- **geregelte Fruchtfolge**

Kulturanteile und Fruchtfolgen sind so anzulegen, dass Erosion, Bodenverdichtung und Abschwemmung von Nährstoffen möglichst vermieden werden.

- **angemessener Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen**

Die ökologischen Ausgleichsflächen müssen mindestens 7 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Betriebs betragen. Entlang von Oberflächengewässern, Hecken, Feld- und Ufergehölzen und Waldrändern ist ein extensiver Grün- oder Streueflächenstreifen von mindestens 3 Metern Breite anzulegen.

- **ausgeglichene Düngerbilanz**

Der Phosphorhaushalt wird anhand einer gesamtbetrieblichen Bilanz beurteilt und muss ausgewogen sein.

Die Evaluation (Erfolgskontrolle) der eingeleiteten Ökomassnahmen soll aufzeigen, inwieweit die durch die Landwirtschaft verursachte Belastung überdüngter Seen durch diese Massnahmen auf ein seenverträgliches Niveau reduziert werden. Das allgemeine Wirkungsziel wurde vom BLW wie folgt festgelegt:

Reduktion der durch die Landwirtschaft verursachten Phosphorbelastung der Oberflächengewässer um 50 %.

Als Referenzwert gilt die Periode 1990-92 vor Einführung der Ökomassnahmen. Das Ziel soll bis zum Jahr 2005 erreicht sein (Forni *et al.* 1999).

Gebietsbeschreibung

Das Untersuchungsgebiet liegt am Frienisberg-Nordabhang nordwestlich von Bern und umfasst 360 ha. Die Landnutzung ist typisch für ein Ackerbaugesbiet. Die landwirtschaftliche Nutzfläche (323 ha) teilt sich auf in 270 ha Ackerfläche und 53 ha Naturwiese. Die Böden sind zu drei Vierteln normal durchlässige Braun- und Parabraunerden, die als mässig erosionsanfällig eingestuft werden können. Von den 52 Betrieben erbrachten 1999 45 Betriebe den ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN), was 87 % der Betriebe (73 % der Fläche) entspricht. Zwei Betriebe bewirt-

schafteten ihre Fläche biologisch (3,5 % der Fläche). Fünf Betriebe (23,5 % der Fläche) sind aus verschiedenen Gründen nicht beitragsberechtigigt.

Modellberechnung

Bodenerosion kann von Jahr zu Jahr sehr stark variieren. Über Erosionsschadenskartierungen alleine kann kaum eine Erfolgskontrolle der Ökomassnahmen durchgeführt werden, da die jährlichen Witterungseinflüsse zu gross sind. Aus diesem Grund wurde die Bodenerosion im Untersuchungsgebiet mit der allgemeinen Bodenabtragsgleichung (Schwertmann *et al.* 1990) modellhaft berechnet. Da sich an

den mittleren Niederschlagsverhältnissen, der Erosionsanfälligkeit des Bodens und der Lage der einzelnen Parzellen im Hang in den beiden Vergleichsperioden nur sehr wenig verändert hat, muss die grösste Aufmerksamkeit den Veränderungen bei der Nutzung und Bewirtschaftung (Fruchtfolgen und Bodenbearbeitung) gelten. Deren Auswirkungen auf die Bodenerosion wurde durch das Modell berechnet.

Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG)

$$A = R * K * LS * C * P$$

A = langjähriger mittlerer Bodenabtrag

R = Niederschlagserosivität

K = Bodenerodibilität

LS = Topographiefaktor

C = Bewirtschaftungsfaktor

P = Erosionsschutzfaktor

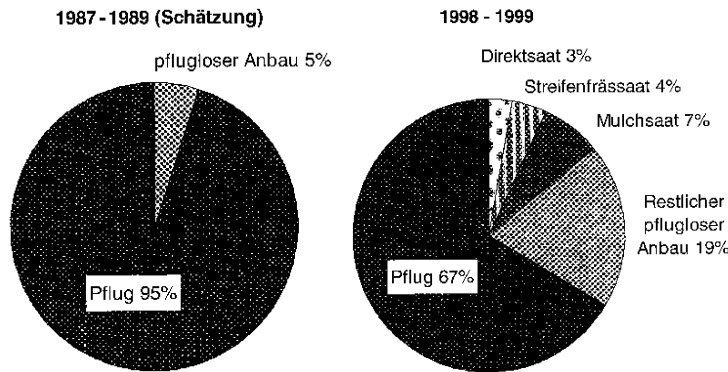
Rückgang der Ackerfläche

In den Jahren 1998-99 wurden knapp 5 % der Ackerfläche von 1987-89 nicht mehr ackerbaulich genutzt (Abb. 1). Davon wurden zwei Drittel in Naturwiese, der Rest in ökologische Ausgleichsflächen oder Garten- und Obstanlagen umgewandelt. Der Anteil der aus der Ackernutzung genommenen Fläche ist jedoch etwas grösser, da je nach Jahr auch Parzellen mit Bunt- und Rotationsbrachen dazukommen. Dank der Umnutzung sind diese Parzellen für Erosion nicht mehr gefährdet.

Veränderungen der Kulturanteile

Im Vergleich mit der Periode 1987-89 haben bei den Hauptkulturen nur die Kartoffeln einen deutlichen Rückgang erfahren. Alle anderen Kulturanteile sind in etwa gleich geblieben. Bei der Winterbedeckung sind jedoch deutliche Unterschiede zu verzeichnen. Die im ÖLN über den Bodenschutzindex geforderte Bodenbedeckung im Winter und

Abb. 2. Prozentuale Verteilung der Bodenbearbeitungsverfahren aller Ackerkulturen (ohne Kunstwiese).



Verminderung der winterbrachen Fläche schlägt sich deutlich nieder. Im Winter haben die Schwarzbrachen von rund 22 % in der Periode 1987-89 auf 5 % im Zeitraum 1998-99, Stoppelbrachen von 5 % auf 2 % abgenommen (Abb. 1). Der Anbau von Zwischenkulturen und einjährigen Kunstwiesen hat sich dagegen von 11 % auf 25 % mehr als verdoppelt.

Veränderte Bodenbearbeitungsverfahren

Die Bodenbearbeitung hat einen grossen Einfluss auf erosionsrelevante Kriterien wie Mulchbedeckung, Krümelgrösse und -stabilität sowie Bodenverdichtung. Je höher die Bearbeitungsintensität, je feiner das Saatbett und je geringer die Bodenbedeckung mit Ernterückständen oder Pflanzenresten ist, desto grösser ist die Erosionsanfälligkeit. Konservierende Bodenbearbeitungsverfahren (Mulch-, Direkt-, Streifenfrässaat mit mehr als 30 % Mulchbedeckung bei der Saat) bieten in der Regel einen optimalen Erosionsschutz. Während 1987-89 noch schätzungsweise 95 % der Ackerkulturen mittels konventioneller Bodenbearbeitung (Pflug plus gezogenes oder zapfwellengetriebenes Gerät) und 5 % mit pfluglosen Verfahren (meist weniger als 30 % Mulchbedeckung) angebaut wurden und man keine konservierende Bodenbearbeitung durchführte, betrug der Anteil konservierender Bodenbearbeitungsverfahren 1998-99 14 % (Abb. 2). Pfluglose Anbauver-

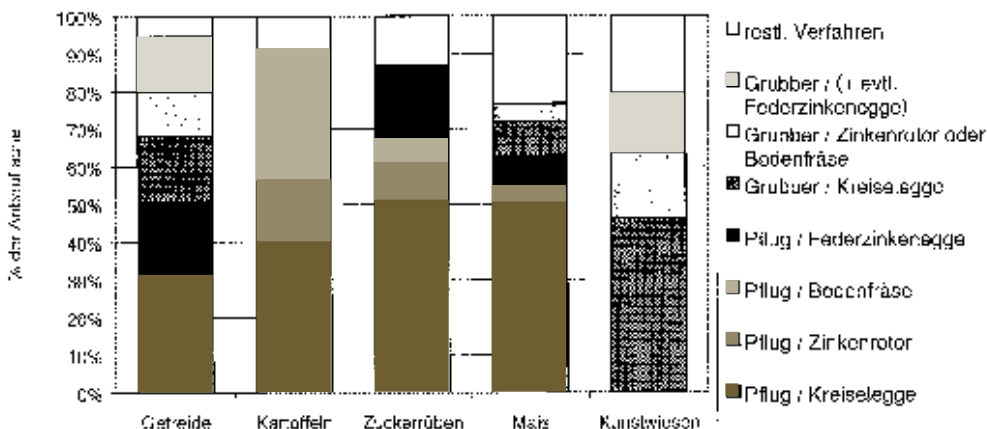
fahren mit weniger als 30 % Mulchbedeckung machten 19 % aus, so dass die konventionelle Bodenbearbeitung 1998-99 noch rund zwei Drittel betrug. Direktsaat wurde nur bei Kunstwiese (12 % der Anbaufläche) in nennenswertem Umfang eingesetzt. Streifenfrässaat kam auf 19 % der Maisfläche zur Anwendung. Mulchsaaten wurden zu 4 % bei Weizen, 13 % bei Gerste, je 9 % bei Zuckerrüben und Mais und 37 % bei Kunstwiesen durchgeführt. Pflugloser Anbau mit weniger als 30 % Mulchbedeckung kam vor allem bei Getreide und Kunstwiese mit um die 40 % zum Einsatz. Konventioneller Anbau dominierte bei Kartoffeln mit 97 %, Zuckerrüben mit 87 %, Mais mit 67 % und Winterweizen mit 54 % der jeweiligen Anbaufläche.

fahren mit weniger als 30 % Mulchbedeckung machten 19 % aus, so dass die konventionelle Bodenbearbeitung 1998-99 noch rund zwei Drittel betrug.

Direktsaat wurde nur bei Kunstwiese (12 % der Anbaufläche) in nennenswertem Umfang eingesetzt. Streifenfrässaat kam auf 19 % der Maisfläche zur Anwendung. Mulchsaaten wurden zu 4 % bei Weizen, 13 % bei Gerste, je 9 % bei Zuckerrüben und Mais und 37 % bei Kunstwiesen durchgeführt. Pflugloser Anbau mit weniger als 30 % Mulchbedeckung kam vor allem bei Getreide und Kunstwiese mit um die 40 % zum Einsatz. Konventioneller Anbau dominierte bei Kartoffeln mit 97 %, Zuckerrüben mit 87 %, Mais mit 67 % und Winterweizen mit 54 % der jeweiligen Anbaufläche.

Bei der Intensität der Bodenbearbeitung zeigt sich, dass insgesamt 68 % der offenen Ackerfläche mit einem zapfwellengetriebenen (= intensiven) Gerät, 24 % mit einem bodengetriebenen (= extensiven) Gerät und 8 % mit Direktsaat oder Streifenfrässaat (= sehr extensiv) bewirtschaftet wurden. Bei allen Kulturen wurden 40 bis 60 % der Flächen mit der Kreiselegge, etwa 20 % mit der Federzinkenegge, je 5 bis 10 % mit dem Zinkenrotor und der Bodenfräse (bei Kartoffeln 50 %) bearbeitet (Abb. 3). Bei fachgerechtem Einsatz hinterlassen gezogene Geräte ein grobscholligeres Saatbett als zapfwellengetriebene (Müller *et al.* 1997). Die Böden sind dann weniger erosionsanfällig.

Abb. 3. Einsatz verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte bei den Hauptkulturen 1998-99.



Fazit Modellberechnungen

Als Folge der Ökomassnahmen sollten bodenschonende Anbauverfahren, vermehrter Anbau von Zwischenfrüchten und die Anlage von ökologischen Ausgleichsflächen auf Ackerflächen gemäss Modellberechnungen zu

einer Reduktion der mittleren Bodenerosion von etwa 27 % geführt haben. Auch der Bodenmaterial- und Phosphoreintrag in die Gewässer durch Bodenerosion sollte entsprechend in einer ähnlichen Grössenordnung abgenommen haben.

Erosionsschadenskartierungen

Nach jedem grösseren Niederschlagsereignis, an dem mit Erosionsschäden gerechnet werden konnte, hat man eine Erosionsschadenskartierung im Feld durchgeführt (Abb. 4). Dabei wurde bei flächenhaften Erosionsformen der betroffene Flächenanteil einer Parzelle bestimmt und bei linearen Erosionsformen (Rillen, Rinnen) das Abtragsvolumen direkt über die Vermessung der Länge, der mittleren Breite und mittleren Tiefe der Form ermittelt.

In den Jahren 1998-99 wurden insgesamt 445 Erosionsformen kartiert, quantifiziert und bewertet und den 324 im gleichen Gebiet kartierten Erosionsformen der Jahre 1987-89 gegenübergestellt (Tab. 1). 44 % aller Parzellen wurden 1998-99 im Mittel von Erosion betroffen, wobei die durch Erosion direkt geschädigte Fläche 22 % der gesamten Ackerfläche ausmachte. Der mittlere Bodenabtrag von 245 m³ beziehungsweise 0,91 t/ha lag höher als der 1987-89 ermittelte (196 m³ bzw. 0,71 t/ha). Rund zwei Drittel des erodierten Abtragsvolumens waren auf lineare, rund ein Drittel auf flächenhafte Erosion zurückzuführen. Die gleiche prozentuale Verteilung wurde auch 1987-89 gefunden. Während 1998-99 zwei Drittel des Abtragsvolumens im Winterhalbjahr und ein Drittel im Sommerhalbjahr erodiert wurden, verhielt es sich in der Periode 1987-89 genau umgekehrt. Dies ist auf die sehr unterschiedlichen Niederschlagsbedingungen der beiden Ver-

Tab. 1. Vergleich einiger Ergebnisse der Erosionsschadenskartierungen 1987-89 und 1998-99

	1987-1989 Mittelwerte über 3 Jahre	1998-1999 Mittelwerte über 2 Jahre
Parzellen Ackerland (Anzahl)	259	208
Ackerland inklusive Kunstwiese (ha)	276	270
mittlere Flächengrösse Anbauparzellen (ha)	1,06	1,30
von Erosion betroffene Anbauparzellen (%)	33	44
durch Erosion geschädigte Fläche (% von Ackerfläche)	16	22
Abtragsvolumen (m ³)	196	245
Abtragsvolumen (t/ha Ackerland)	0,71	0,91
- Anteil lineare Erosion (%)	67	66
- Anteil flächenhafte Erosion (%)	33	34
- Anteil Sommerhalbjahr/Sommerkulturen (%)	65	36
- Anteil Winterhalbjahr/Winterkulturen (%)	35	64
Erosionsmaterialeintrag in die Gewässer (%)	10 - 20	18

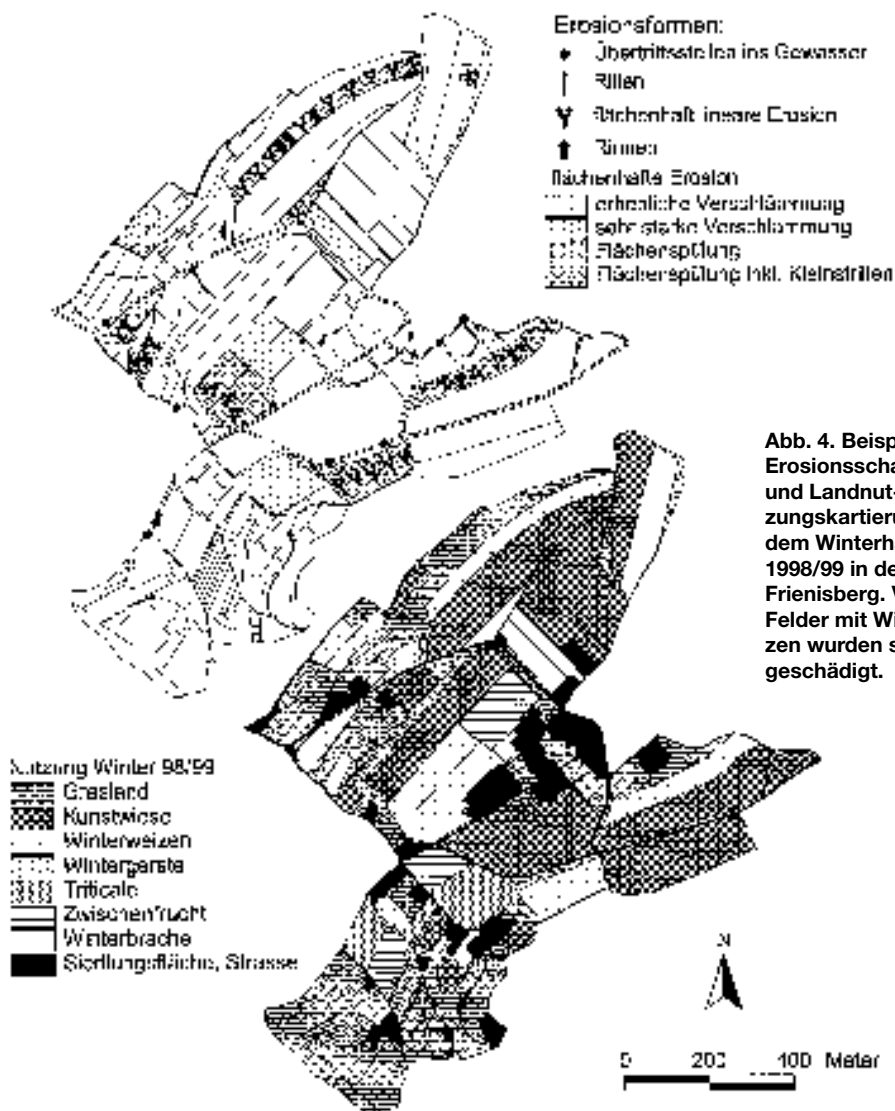


Abb. 4. Beispiel einer Erosionsschadens- und Landnutzungs-kartierung aus dem Winterhalbjahr 1998/99 in der Region Friesenberg. Vor allem Felder mit Winterweizen wurden stark geschädigt.

Abb. 5. Erosionsrillen und -rinnen auf frisch gesätem Winterweizenfeld im extrem feuchten Herbst 1998. 6.11.98, Region Frienisberg (Foto: V. Prasuhn).



gleichperioden zurückzuführen. In der Periode 1998-99 gab es nur ein grösseres, stark erosives Sommergewitter im Juli bei weitgehend geschlossener Vegetationsdecke und daher geringe Erosionsschäden, während 1987-89 zwei erheblich stärkere,

sehr lokale Gewitter im Mai und Juni bei zum Teil schlechter Bodenbedeckung für grosse Erosion sorgten. Das Winterhalbjahr 1998/99 war dagegen extrem feucht (420 mm Niederschlag von September bis November statt 250 mm in Normaljahren),

so dass es hier vor allem im frisch angesäten und schlecht deckenden Winterweizen zu massiven Erosionsschäden von bis zu 24 t/ha kam (Abb. 5).

Im Mittel der beiden Untersuchungsjahre 1998-99 wurden rund 18 % (= 45 m³ pro Jahr) des gesamten Erosionsmaterials über die Ackerschläge hinaus bis in ein Gewässer transportiert. Mosimann *et al.* (1990) schätzten den Gewässereintrag in der Periode 1987-89 auf 10 bis 20 %.

Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Erosionsgefährdung spiegelt sich deutlich in den prozentualen Anteilen der von Erosion betroffenen Parzellen wider (Abb. 6). Während bei konservierender Bodenbearbeitung 1998-99 nur 3 % (Direktsaat/Streifenfrässaat) beziehungsweise 13 % (Mulchsaat) der Parzellen von Erosion betroffen wurden, waren bei den pfluglosen Verfahren mit <30 % Mulchbedeckung und beim Pflug über 30 % der Parzellen jeweils von Erosion geschädigt.

Fazit Erosionsschadenskartierungen

Der Vergleich der Ergebnisse der Feldkartierungen zeigt, dass in den Jahren 1998-99 im Mittel etwa 22 % mehr Boden erodiert wurde als in der Periode 1987-89. Da sich der prozentuale Anteil am erodierten Bodenvolumen, der in ein Gewässer gelangt, kaum verändert hat, hat auch der Material- und Phosphoreintrag zugenommen. Dies ist jedoch in erster Linie auf die sehr unterschiedlichen klimatischen Bedingungen der Vergleichsperioden zurückzuführen, die durch Einzelereignisse geprägt waren und nicht die langjährigen, mittleren Bodenabträge der Modellberechnung widerspiegeln. Erst längerfristige Untersuchungen erlauben zuverlässigere Aussagen. Die Erosionsschadenskartierungen wer-

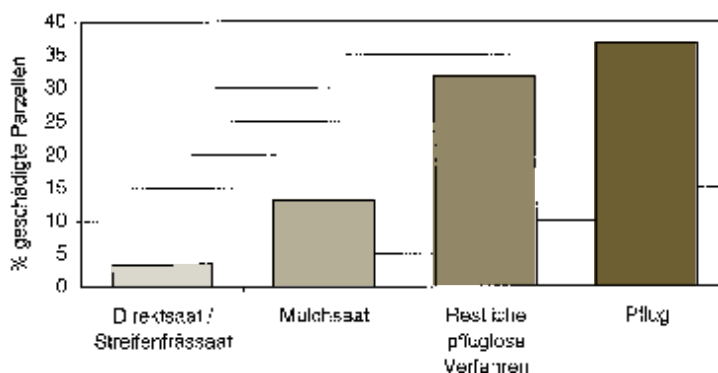


Abb. 6. Einfluss der Bodenbearbeitungsverfahren auf die Anzahl erosionsgeschädigter Parzellen 1998-99.

den bis zum Jahr 2005 fortgesetzt, erst dann kann mit gesicherten Erkenntnissen gerechnet werden.

Folgerungen

■ Aufgrund der Bewirtschaftung hat die Erosionsgefährdung 1998-99 gemäss Modellberechnungen gegenüber 1987-89 um etwa 27 % abgenommen. Die Veränderungen der Bewirtschaftung (Bodenbearbeitungsverfahren, Fruchtfolge) sind zum Teil auf die Ökomassnahmen zurückzuführen. Eine positive Entwicklung ist eindeutig feststellbar.

■ Die tatsächlichen Bodenabträge haben in der Periode 1998-99 dagegen um rund 22 % gegenüber 1987-89 zugenommen. Hierfür sind die aussergewöhnlichen klimatischen Bedingungen der Periode 1998-99 verantwortlich. Trotzdem wird deutlich, dass Bodenerosion immer noch ein Problem sein kann und Massnahmen zu ergreifen sind.

■ Erst längerfristige Untersuchungen erlauben gesicherte Aussagen.

■ Es werden immer noch viele Flächen sehr intensiv bearbeitet. Hier ist noch ein grosses Erosionsminderungspotenzial vorhanden.

Literatur

■ Braun M., Wüthrich-Steiner C., Spiess E., Stauffer W. und Prasuhn V., 1998. Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen im Gewässerschutz. *Agrarforschung* 5 (3), 129-132.

■ Forni D., Gujer H. U., Nyffenegger L., Vogel S. und Gantner U., 1999. Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme. *Agrarforschung* 6 (3), 107-110.

■ Mosimann T., Maillard A., Musy A., Neyroud J.-A., Rüttimann M. und Weisskopf P., 1991. Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten. Ein Leitfaden für die Bodenerhaltung. Themenbericht des Nationa-

len Forschungsprogrammes «Nutzung des Bodens in der Schweiz», Liebefeld-Bern. 186 S.

■ Mosimann T., Crole-Rees A., Maillard A., Neyroud J.-A., Thöni M., Musy A. und Rohr W., 1990. Bodenerosion im Schweizerischen Mittelland. Ausmass und Gegenmassnahmen. Bericht 51 des Nationalen Forschungsprogrammes «Nutzung des Bodens in der Schweiz», Liebefeld-Bern, 262 S.

■ Müller M., Schenker W. und Sturny W.G., 1997. Bodenbearbeitung: Welche Spuren hinterlassen wir im Boden. *Agrarforschung* 4 (3), 1-8.

■ Rohr W., 1999. Bodenerosion auf Ackerflächen. NFP 22 Boden, Untersuchungsergebnisse, unveröffentlicht.

■ Schwertmann U., Vogl W. und Kainz M., 1990. Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmassnahmen. Stuttgart, 64 S.

RÉSUMÉ

Evaluation des mesures écologiques: pertes de phosphore dues à l'érosion du sol

Dans le cadre de l'évaluation des mesures écologiques, une étude de cas a été effectuée dans la région de Frienisberg (BE) dans le but d'étudier les relations entre les mesures écologiques dans l'agriculture et les apports de phosphore dans les eaux suite à l'érosion du sol. Selon la simulation, le risque permanent d'érosion et par conséquent la charge des eaux en phosphore liée à l'érosion du sol en 1998-1999 ont diminué d'environ 27 % par rapport à 1987-89. Ce changement s'explique par la modification de l'assolement et des procédés d'exploitation. L'érosion mesurée sur les parcelles a par contre augmenté d'environ 22 % pendant la période 1998-99 par rapport à la période 1987-89. Ce phénomène est dû cependant aux conditions climatiques extraordinaires qui ont marqué la période 1998-1999.

SUMMARY

Evaluation of ecological measures: phosphorus losses due to soil erosion

Within the scope of the evaluation of ecological measures, a case study was carried out in the region of Frienisberg in the canton of Berne in order to determine the relationship between ecological measures taken in agriculture and the phosphorus load in the waters stemming from soil erosion. According to model calculations, in the period from 1998 to 1999, as compared to the period between 1987 and 1989, because of changes in crop rotation and cultivation techniques, the long-term risk of erosion and the resulting phosphorus contamination of the waters, which can be led back to soil erosion, dropped by approx. 27 %. In the period from 1998 to 1999, however, as compared to 1987 to 1989, the soil loss measured in the field increased by approx. 22 %. This is due to the extraordinary climatic conditions in the period between 1998 and 1999.

Key words: evaluation of ecological measures, phosphorus, soil erosion, emissions into surface waters