

Zeitliche Variabilität von Bodenerosion – Analyse von 10 Jahren Erosionsschadenskartierungen im Schweizer Mittelland

V. Prasuhn

Temporal variability of soil erosion – A 10 year analysis of soil erosion damage mapping in the Swiss Midlands

1 Einleitung

Bodenerosion von Ackerflächen wird durch zahlreiche Einflussfaktoren (Boden, Relief, Niederschlag, Bewirtschaftung etc.) gesteuert. Während sich die Boden- und Relief-eigenschaften einzelner Ackerparzellen von Jahr zu Jahr kaum verändern, unterliegen Niederschlag und Bewirtschaftung einer hohen zeitlichen Variabilität. Das zeitliche Zusammenspiel von Niederschlag und Zustand der Ackerparzellen bezüglich Anbaukultur, Bodenbedeckung, Bodenbearbeitung etc. beim jeweiligen Niederschlagsereignis ist für die Höhe des Bodenabtrages in einem Gebiet ausschlaggebend. Um dem Rechnung zu tragen, sind langjährige Untersuchungen auf zahlreichen Ackerparzellen notwendig. Die meisten Erosionsstudien basieren aber auf Testparzellenmessungen oder Erosionsmodellierungen, welche auf Resultate von Testparzellenmessungen aufbauen (SCHAUB & PRASUHN, 1993; BRAZIER, 2004). Feldbezogene Ansätze wie die Erosionsschadenskartierung gibt es deutlich weniger, obwohl auf deren Bedeutung schon verschiedentlich hingewiesen wurde (BOARDMAN, 2006; BOARDMAN & POESEN, 2006; EVANS, 1993; EVANS, 2005).

Aber auch die meisten feldbezogenen Untersuchungen betrachten nur Einzelereignisse – meist Extremereignisse – oder erfassen nur wenige Jahre. Beispiele für die Kartierung von Einzelereignissen liefern: ØYGARDEN (2003) in Norwegen auf 25 Parzellen im Winter 1990; BOARDMAN (1998) in Großbritannien auf 16 Parzellen im Jahr 1987, BOARDMAN et al. (2009) in Großbritannien auf 54 Parzellen im Winter 2006/07, AUZET et al. (1993) in Frankreich in 20 Kleineinzugsgebieten im Winter 1988/89, CERDAN et al. (2002) in Frankreich auf 94 ha Fläche bei zwei Ereignissen 1999/2000, VAN DIJK et al. (2005) in Frankreich auf 420 ha Fläche im Jahr 2001. Kurz- bis mittelfristige Untersuchungen liegen vor von EVANS (1993) mit 5-jährigen Kartierungen an 17 Orten in Großbritannien und Wales zwischen 1982 und 1986; GOVERS (1991) mit 4-jährigen Kartierungen in Belgien; ALSTRÖM & BERGMAN ÅKERMANN (1992) mit 3-jährigen Kartierungen auf 935 Parzellen in Schweden, LUDWIG et al. (1995) mit 3-jährigen Kartierungen in Frankreich, VANDAELE & POESEN (1995) mit 3-jährigen Kartierungen in Belgien. Für langjährige Felduntersuchungen liegen nur wenige Beispiele vor: BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK (1993) berichten über

Summary

From 1997 to 2007 soil erosion was measured in the Swiss Plateau on arable land using erosion damage mapping. The investigation area is 263 hectares in size with 203 field plots. Rill erosion features were measured and quantified in 78 field surveys. The quantification of sheet erosion was realised visually. The analysis of the 2030 plot years resulted in a total annual soil loss that varied strongly from year to year (42 to 482 tons of soil). The six largest soil erosion events (7 % of all events) produced more than 100 tons of soil loss each comprising more than 50 % of the total soil loss of all events in the whole period. These six soil erosion events occurred in six different months, were caused by different reasons and affected various crops.

Key words: Soil erosion, erosion damage mapping, rainfall variability, R factor, long-term monitoring.

Zusammenfassung

Von 1997 bis 2007 wurde in einem Untersuchungsgebiet mit 203 Ackerparzellen und 263 ha Fläche im Schweizer Mittelland das Erosionsgeschehen mittels Erosionsschadenskartierung flächendeckend erfasst. Bei 78 Feldbegehungen wurden die linearen Erosionsformen vermessen und deren Abtrag quantifiziert; flächenhafte Erosion wurde visuell beurteilt und deren Abtrag abgeschätzt. Die Auswertung der 2030 Parzellenjahre zeigt, dass die Summe der jährlichen Abtragungsmengen im gesamten Untersuchungsgebiet von Jahr zu Jahr stark variiert (42 bis 482 t Boden). Die sechs größten Abtragsereignisse (7 % aller Ereignisse) führten jeweils zu mehr als 100 Tonnen Abtrag im Gesamtgebiet und machten über 50 % des gesamten Abtrages aller Ereignisse über 10 Jahre aus. Diese sechs Abtragsereignisse fanden in sechs verschiedenen Monaten statt, hatten verschiedene Ursachen und trafen verschiedene Anbaukulturen.

Schlagnworte: Bodenerosion, Erosionsschadenskartierung, Niederschlagsvariabilität, R-Faktor, Langzeit-Monitoring.

Erosionsschadenskartierungen von 1982–91 in South Downs, Großbritannien, OGERMANN et al. (2003) von 12-jährigen Kartierungen aus dem Schweizer Tafeljura und MOSIMANN et al. (2009) von 9-jährigen Kartierungen aus Niedersachsen, Deutschland.

Wissenslücken existieren nach BOARDMAN (2006) vor allem bei der zeitlichen und räumlichen Verteilung von Bodenerosion, ihren Quellen und Ursachen. Weiterhin gibt es nach BOARDMAN (2006) bisher zu wenige Informationen über Größe und Häufigkeit von Niederschlagsereignissen, welche Erosion verursachen. Ein Langzeit-Monitoring im Feld über zahlreiche Ackerparzellen schafft eine ausreichend große Datenbasis, die es erlaubt, generelle Aussagen über Art und Ausmaß von Bodenerosion zu treffen sowie über Off-Site-Schäden, über die räumliche und zeitliche Verbreitung von Erosion und über mittlere Abtragungsmengen für einzelne Parzellen und ein ganzes Untersuchungsgebiet. Der nachfolgende Beitrag präsentiert einige Resultate einer Erosionsschadenskartierung im Schweizer Mittelland im Hinblick auf die zeitliche Variabilität von Erosionsereignissen und den Einfluss einzelner Niederschlagsereignisse auf den Bodenabtrag von 203 Ackerparzellen über 10 Jahre.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiete

Das Untersuchungsgebiet liegt nordwestlich von Bern im Schweizer Mittelland zwischen 475 und 720 m ü. NN in einer typischen Ackerbauregion der Schweiz. Es besteht aus fünf Teilgebieten (Frienisberg, Seedorf, Suberg, Lobsigen,

Schwanden), die maximal 10 km auseinander liegen. Das Gebiet wurde bereits Ende der 80er-Jahre in einem nationalen Forschungsprojekt hinsichtlich Bodenerosion intensiv untersucht (MOSIMANN et al., 1990). Es umfasst 203 Ackerschläge mit einer Fläche von 263 ha, d.h. die mittlere

Tabelle 1: Charakterisierung des Untersuchungsgebietes
Table 1: Analysed existing soil evaluation methods

Anzahl Ackerschläge	203
Mittlere Schlaggröße (ha)	1,3
Mittlere Betriebsgröße (ha)	16,7
Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm)	1035–1150
Bodentypen	Braunerden, Parabraunerden
Erodibilität der Böden (K-Faktor)* (kg h/N m ²), (Spannweite)	0,033 (0,017–0,042)
Hangneigung Ackerschläge (%), (Spannweite) Hanglänge Ackerschläge (m), (Spannweite)	6,5 (1–25) 68 (5– 210)
Landnutzung (%):	
Winterweizen	23
Kleegrass-Ansaatwiese (Kunstwiese)	21
Mais	15
Zuckerrüben	14
Wintergerste	9
Kartoffeln	6
Raps	2
andere	10

* berechnet nach SCHWERTMANN et al. (1990)

Schlaggröße beträgt 1,3 ha (Tabelle 1). Insgesamt 52 Betriebe, überwiegend gemischte Ackerbau-Tierhaltungsbetriebe mit einer durchschnittlichen Betriebsgröße von 16,7 ha, haben mindestens einen Schlag im Untersuchungsgebiet. Die Böden im Untersuchungsgebiet sind überwiegend gut durchlässige Braun- und Parabraunerden über Grundmoräne, die Erosionsanfälligkeit der überwiegend sandigen Lehme ist als mäßig einzustufen (PRASUHN & GRÜNIG, 2001). Die langjährigen mittleren Jahresniederschläge liegen zwischen 1035 mm (Seedorf) und 1150 mm (Frienisberg). Die Fruchtfolgen sind entsprechend den Betriebsstrukturen vielseitig; Monokulturen existieren nicht. Im Untersuchungsgebiet werden knapp 40 % Getreide und Raps, 37 % Hackfrüchte und 20 % Klee-graswiesen angebaut. Zwischenfruchtanbau im Winter ist weit verbreitet (über 90 % der Fläche mit Winterkultur oder Zwischenfrucht). Der Anteil pflugloser Anbauverfahren hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen (40 % der Hauptkulturen mit pfluglosem Anbau) (PRASUHN, 2005). Eine detaillierte Gebietsbeschreibung ist MOSIMANN et al. (1990) und PRASUHN & GRÜNIG (2001) zu entnehmen.

2.2 Erosionsschadenskartierung

Das Vermessen der Eintiefung von Erosionsrillen und die Berechnung des erodierten Bodenvolumens durch Messung von Länge und Querschnittsfläche einer Rille an repräsentativen Stellen wird von verschiedenen Autoren als einfach, hinreichend genau, schnell und kostengünstig betrachtet (WATSON & EVANS, 1991; EVANS, 2002; VAN DIJK et al., 2005; CASALI et al., 2006). Die vorliegende Kartierung der Erosionsschäden erfolgte in Anlehnung an bestehende Kartieranleitungen von ROHR et al. (1990) und DVWK (1996); eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens befindet sich in LEDERMANN et al. (2008). Nach jedem größeren Niederschlags- oder Schneeschmelzereignis wurde eine flächendeckende Feldbegehung durchgeführt, bei der alle sichtbaren Erosionsschäden kartiert, vermessen und quantifiziert wurden. Lineare Erosionsformen wurden der Länge nach abgeschritten und in relativ homogene Abschnitte untergliedert. An einer repräsentativen Stelle jedes Abschnitts wurde mit einem Zollstock die mittlere Tiefe und Breite vermessen und das erodierte Bodenvolumen daraus für jeden Abschnitt berechnet und für die gesamte Erosionsform aufsummiert. Bei zahlreichen, parallel verlaufenden, etwa gleich großen Rillen wurde der Hang in Transekten quer zur Fließrichtung abgeschritten. Dabei wurden

nur einzelne Rillen vermessen. Das Gesamtvolumen wurde dann durch Multiplikation des gemessenen Volumens mit der Anzahl ähnlicher Rillen berechnet. Die Umrechnung von Volumen in Gewicht erfolgte mit einer angenommenen Lagerungsdichte von $1,2 \text{ g/cm}^3$ für Rillen > 10 cm Tiefe sowie Rillen in Fahrspuren oder Ackerrandfurchen. Die meisten Rillen sind aber nur wenige Zentimeter tief und entstehen häufig direkt nach der Bodenbearbeitung im gelockerten Saatbett. Daher wurde für alle flachen Rillen eine geringe Lagerungsdichte von $1,0 \text{ g/cm}^3$ zur Umrechnung verwendet. Bei flächenhafter Erosion wurde der prozentuale Anteil geschädigter Parzellenfläche visuell anhand sichtbarer Fließspuren in drei Intensitätsklassen (gering = $0,5 \text{ t/ha}$; mittel = $1,0 \text{ t/ha}$; stark = $1,7 \text{ t/ha}$) halbquantitativ abgeschätzt. Diese Einteilung erfolgte auf der Grundlage umfangreicher Feldmessungen zur flächenhaften Erosion mit Materialfangkästen von MOSIMANN et al. (1990). Die Genauigkeit der Erosionsschadenskartierung hängt vor allem von der Komplexität der zu vermessenden Erosionsformen und der Erfahrung des Kartierers ab. Bei einfachen Rillen (relativ geradlinige Rillen und große Talwege oder Erosionsgullies) und einem erfahrenen Kartierer ist mit einem Fehler von bis zu $\pm 15 \%$ zu rechnen, bei komplexen Erosionsnetzwerken, unerfahrenem Kartierer, hoher Vegetationsbedeckung und bei flächenhafter Erosion kann der Fehler auf $\pm 30 \%$ steigen (vgl. ROHR et al., 1990; LEDERMANN et al., 2010).

Möglichst direkt nach einem Niederschlagsereignis, spätestens aber nach 14 Tagen, wurde eine Feldbegehung durchgeführt. Eine Zuordnung der Abtragungsmengen zu einzelnen Niederschlagsereignissen war dadurch nicht immer möglich, es fanden manchmal mehrere Niederschlagsereignisse kurz hintereinander statt, die dann bei der Kartierung nur gesamthaft erfasst werden konnten. Zwischen Oktober 1997 und September 2007 wurden insgesamt 90 flächendeckende Feldbegehungen durchgeführt, bei 78 waren sichtbare Erosionsschäden vorhanden und es wurden Erosionsschadenskartierungen durchgeführt.

Die Niederschlagsdaten lagen in 10-Minuten-Auflösung von der ca. 4 km vom Untersuchungsgebiet entfernt gelegenen, amtlichen Messstation in Lyss für die untersuchten 10 Jahre vor. Im Untersuchungsgebiet selbst gab es nur mehrere Niederschlagsstationen mit Tagessummen. Die Abweichungen der Niederschlagssummen der einzelnen Stationen bei den erosionsrelevanten Niederschlagsereignissen waren in der Regel gering. Die Erosivität der Niederschläge bzw. der R-Faktor wurden nach SCHWERTMANN et al. (1990) berechnet:

R-Faktor = langjähriges Mittel der R_{Jahr}

R_{Jahr} = Summe der R_e

$R_e = E_e * I_{30} * 10^{-3}$

wobei

R_{Jahr} = Jahressumme der Einzelerositäten

R_e = Regenerosität eines Einzelniederschlags (N/h)

E_e = Energiesumme eines Einzelniederschlags (J/m^2)

I_{30} = maximale 30-Minuten-Intensität eines Einzelniederschlags (mm/h)

Zur Berechnung der Einzelerosität (R_e) wurde die Energie des Niederschlags über folgende Gleichungen berechnet:

$E_i = (11,89 + 8,73 \log I_i) * N_i * 10^{-3}$ für $0,05 < I_i < 76,2$

$E_i = 0$ für $I_i < 0,050$

$E_i = 28,33 * N_i * 10^{-3}$ für $I_i > 76,2$

wobei

E_i = Energiedichte des Teilabschnittes (J/m^2)

I_i = Regenintensität des Teilabschnittes (mm/h)

N_i = Niederschlag des Teilabschnittes (mm)

Als „erosiv“ werden jene Niederschläge bezeichnet, die mindestens 10 mm Niederschlagsmenge erbringen oder eine maximale 30-Minuten-Intensität von 10 mm/h überschreiten. Einzelereignisse werden durch mindestens 6 h niederschlagsfreie Zeit getrennt. 336 Ereignisse erfüllten diese Kriterien. Der Betrachtungszeitraum ist immer das hydrologische Jahr (in der Schweiz 1. Oktober bis 30. September).

3 Ergebnisse

3.1 Erosivität der Niederschläge

Der mittlere Jahresniederschlag der Untersuchungsperiode 1997/98 bis 2006/07 lag mit 1091 mm bei der Station Lyss rund 10 % über dem langjährigen Mittel dieser Station (987 mm), jedoch im Bereich der langjährigen Niederschläge benachbarter Messstationen (Aarberg = 1035 mm, Wählendorf = 1150 mm). Der Mittelwert der Jahres-R-Faktoren beträgt 152 N/h (Median = 149 N/h), die Schwankungen zwischen einzelnen Jahren sind sehr groß (66–356 N/h). Der Anteil erosiver Regen am Gesamtniederschlag ist mit 66 % sehr hoch gegenüber den Werten aus Bayern (ROGLER & SCHWERTMANN, 1981). Entsprechend ist die Anzahl erosiver Ereignisse pro Jahr mit 34 höher als an den meisten Stationen in Bayern und Österreich (STRAUSS et al., 1995). Der R_e -Faktor der Einzelereignisse ist relativ hoch, die maximale 30-Minuten-Intensität ist eher niedrig (Tabelle 2). Die hohen R-Faktoren resultieren also vor allem aus der größeren Anzahl und längeren Dauer erosiver Regen und nicht aus der Intensität der Regen. Das R-Faktor-Maximum liegt im August – im Gegensatz zu Bayern, wo es an den meisten Stationen im Juni liegt und zu Österreich, wo es bei den meisten Stationen im Juli liegt. Der maximale R-Faktor-Anteil liegt aber im niederschlagsreichsten Monat, wie auch in Bayern und Österreich (STRAUSS et al., 1995).

Tabelle 2: Kenndaten zur Niederschlagserosivität im Untersuchungsgebiet (Mittelwerte) und Vergleichswerte aus Bayern (ROGLER & SCHWERTMANN, 1981) und Österreich (STRAUSS et al., 1995)

Table 2: Characteristics of the erosivity in the study area (average values) and comparative values of Bavaria (ROGLER & SCHWERTMANN, 1981) and Austria (STRAUSS et al., 1995)

	Lyss (1997/98 bis 2006/07)	Bayern (ROGLER & SCHWERTMANN, 1981)	Österreich (STRAUSS et al., 1995)
Jahresniederschlag (mm)	1091	625–1848	399–1485
Erosiver Jahresniederschlag (% von Jahresniederschlag)	66	28–44	-
R-Faktor (N/h)	152	43–143	46–138
R_e -Faktor (N/h)	4,5	3,5–4,5	3,5–6,8
I_{30} (mm/h)	9,4	9,1–12,2	8,7–14,5
E_e (J/m^2)	403	264–383	288–398
Dauer Einzelniederschlag (h)	15,0	8,0–14,4	-
Anzahl Ereignisse	34,3	12,3–35,2	8,7–25,5

Niederschlag (mm)	Anzahl	(%)	R _c -Wert (N/h)	Anzahl	(%)
< 20	199	59	0–5	263	78
20–30	73	22	5–10	44	13
30–40	39	12	10–20	15	4
40–50	11	3	20–30	8	2
> 50	14	4	> 30	6	2
Summe	336	100		336	100

Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsmengen und Regenerosivität der Einzelniederschläge
 Table 3: Frequency distribution of precipitation amount and erosivity for single precipitation events

14 der 336 erosiven Niederschlagsereignisse hatten eine Regenmenge von mehr als 50 mm (Tabelle 3), bei einem Maximum von 134 mm. Die R_c-Werte dieser Ereignisse schwanken zwischen 3 und 160 N/h, wobei die niedrigen Werte aus dem Winter mit Schnee oder Schneeregen resultieren. Nur bei der Hälfte der Ereignisse mit großer Niederschlagsmenge konnten auch nennenswerte Abtragungsmengen im Gebiet kartiert werden.

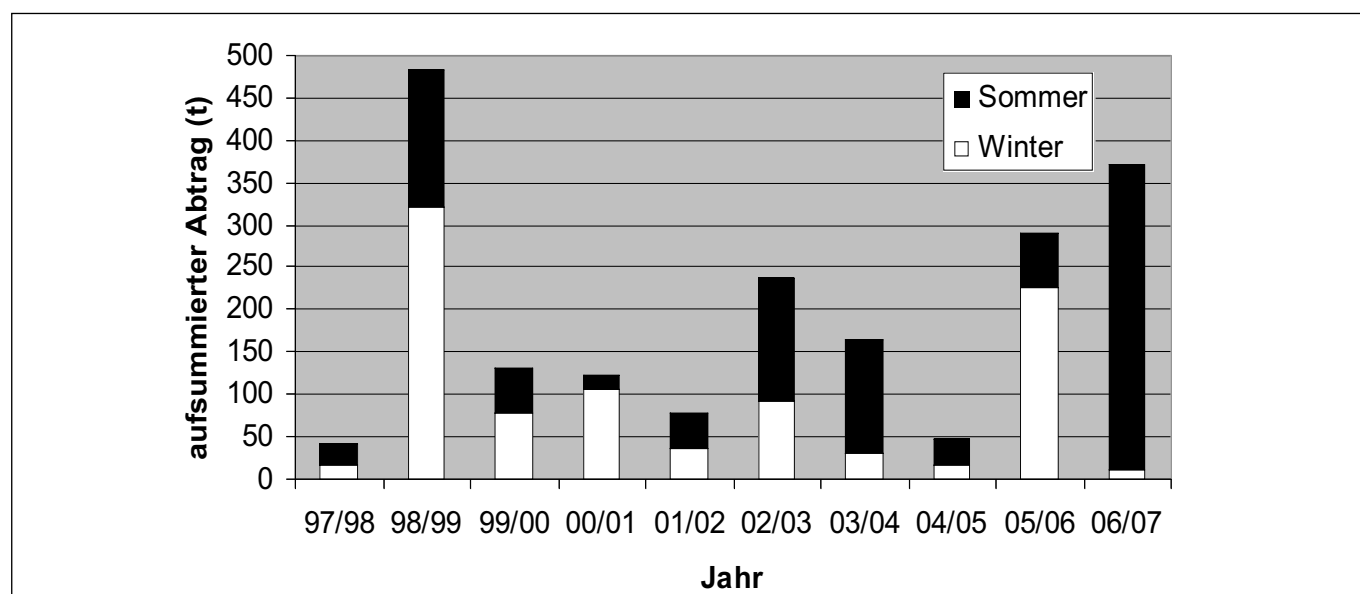
Sechs erosive Niederschlagsereignisse hatten einen R_c-Wert von > 30 N/h. Diese Ereignisse waren alle mit mehr als 30 mm Niederschlagsmenge verbunden, stammten alle aus den Sommermonaten Juni, Juli, August und waren auf Starkregenereignisse (Gewitter) zurückzuführen. Trotz der

hohen Erosivität dieser Niederschlagsereignisse konnten bei zwei Ereignissen keine Erosionsschäden im Untersuchungsgebiet festgestellt werden.

3.2 Bodenabtrag pro Jahr

In den 10 Untersuchungsjahren wurden insgesamt 1969 t bzw. 1830 m³ Boden im gesamten Untersuchungsgebiet erodiert. Im Mittel entspricht dies rund 200 t pro Jahr bzw. 0,7 t/ha und Jahr, bezogen auf die gesamten 263 ha Ackerfläche. Die jährlichen Schwankungen sind sehr groß (Abbildung 1). Zwischen dem kleinsten (42 t) und größten

Abbildung 1: Aufsummierte jährliche Abtragungsmengen (t) im gesamten Untersuchungsgebiet, aufgeteilt nach Sommer- und Winterhalbjahr
 Figure 1: Total annual soil loss (t) for the entire study area separated into half-years of summer and winter



Jahr	Abtrag (t)	Niederschlag (mm)	R _{Jahr} (N/h)
1997/1998	42	881	79
1998/1999	482	1335	163
1999/2000	131	963	145
2000/2001	123	1379	136
2001/2002	79	1019	175
2002/2003	237	1011	165
2003/2004	165	940	90
2004/2005	47	856	74
2005/2006	291	1180	152
2006/2007	372	1351	356
Mittel	197	1091	153

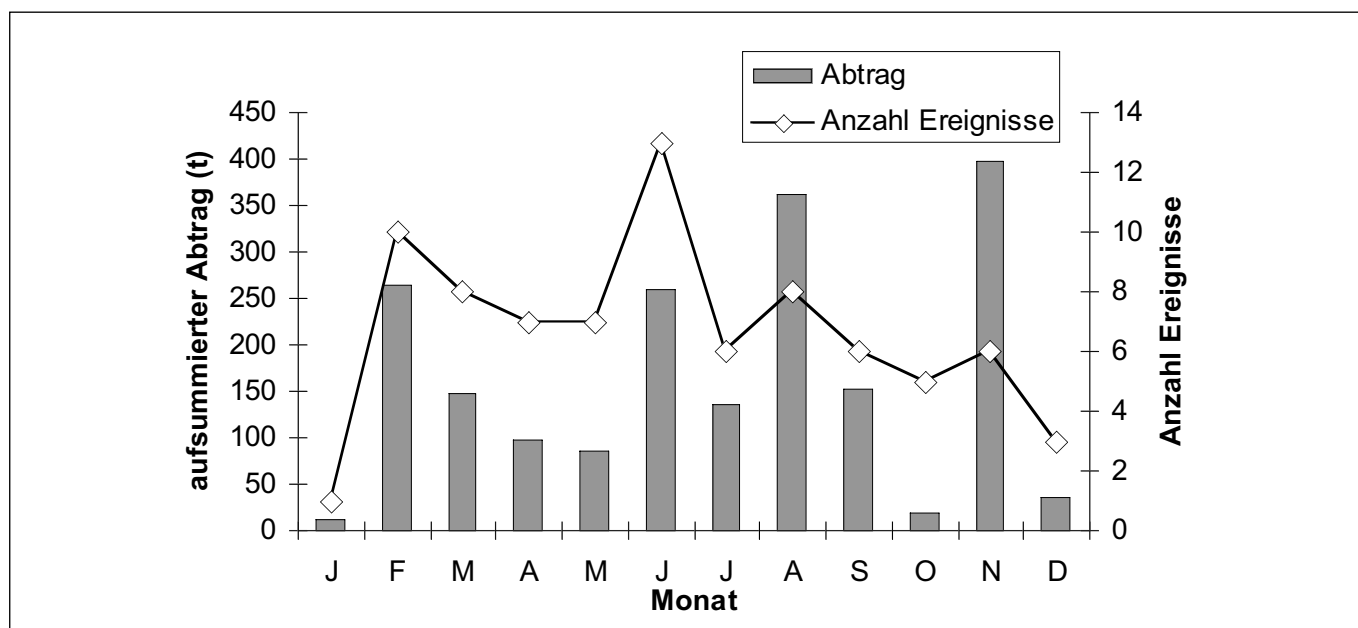
Tabelle 4: Kumulierter Bodenabtrag des Untersuchungsgebietes, Jahresniederschlag und Jahres-R-Werte der 10 Untersuchungsjahre
 Table 4: Total soil loss of the study area, annual precipitation and annual R values for the investigation period

(481 t) jährlichen Bodenabtrag liegt ein Faktor von mehr als 10. Der kleinste und größte Jahresabtragswert traten direkt aufeinanderfolgend in den ersten beiden Untersuchungsjahren auf. Der größte Jahreswert macht knapp 25 % der gesamten Abtragsmenge aller 10 Jahre aus.

Zwischen jährlicher Bodenabtragsmenge und Jahresniederschlagsmenge besteht eine schwache, aber signifikante Beziehung ($r^2 = 0,50$; $P = 0,005$). Die beiden Jahre mit dem höchsten Abtrag waren überdurchschnittlich feuchte Jahre, die beiden Jahre mit dem geringsten Abtrag waren die tro-

Abbildung 2: Aufsummierter monatlicher Bodenabtrag des gesamten Untersuchungsgebietes über 10 Jahre und Anzahl monatlicher Abtragsereignisse basierend auf den durchgeführten Erosionsschadenskartierungen

Figure 2: Total monthly soil loss of the entire study area for the whole investigation period as well as the number of monthly soil erosion events based on our erosion damage mapping



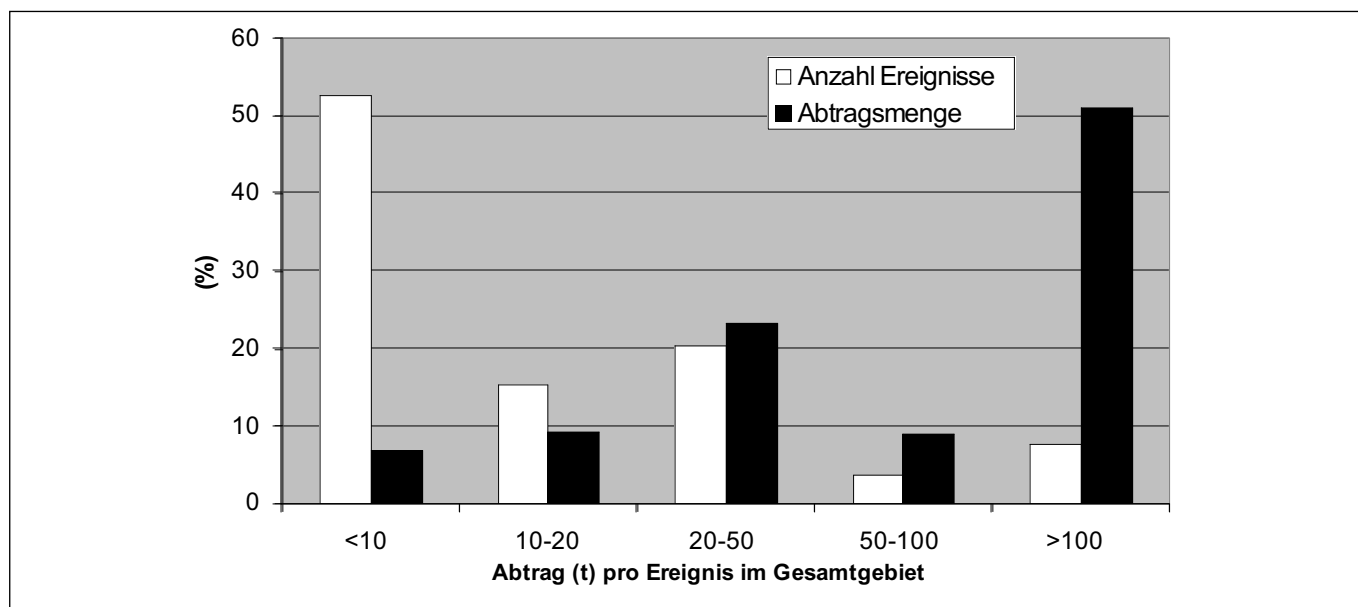


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung von Bodenabtragsmenge pro Niederschlagsereignis im Gesamtgebiet. Prozentualer Anteil an der Anzahl der Ereignisse (n = 78) und an der Gesamtabtragsmenge (1969 t)

Figure 3: Frequency distribution of soil loss per rainfall event for the entire area, percentage of number of events (n = 78) and total soil loss (1969 t)

ckensten Jahre der Untersuchungsperiode (Tabelle 4). Die Beziehung zwischen Bodenabtrag und Jahres-R-Faktor ist sehr schwach ($r^2 = 0,36$) und nicht signifikant.

3.3 Jahreszeitliche Verteilung des Abtrags

Die jahreszeitliche Verteilung des Bodenabtrags zeigt im Mittel ein weitgehend ausgeglichenes Bild. 52 % der gesamten Abtragsmenge resultiert aus dem Sommerhalbjahr (April bis September) und überwiegend von den im Frühling angebaute Kulturen Kartoffeln, Mais und Zuckerrü-

ben; 48 % aus dem Winterhalbjahr (Oktober bis März) und überwiegend von Wintergetreide, Winterbrache oder Zwischenkulturen. In den einzelnen Jahren können die Unterschiede aber sehr groß sein (Abbildung 2). Monate mit großem Abtrag waren die Monate November (397 t), August (361 t), Februar (264 t) und Juni (260 t), Monate mit geringem Abtrag Januar (13 t), Oktober (18 t) und Dezember (35 t). Von den insgesamt 78 durchgeführten Erosionsschadenskartierungen stammten die meisten Abtragsereignisse aus dem Juni, aber auch im Februar gab es viele Ereignisse. Im Januar und Dezember fanden kaum Abtragsereignisse statt (Abbildung 2).

Tabelle 5: Die sechs größten Abtragsereignisse während der Untersuchungsperiode und deren relevante Niederschlagsparameter

Table 5: The six largest erosion events during the investigation period and the relevant rainfall parameters

Datum	Abtrag (t)	Niederschlag (mm)	R_c -Wert (N/h)	Vorperiode Niederschlag (mm)	Vorperiode R_c -Wert (N/h)
03.11.1998	273,8	42,3	3,2	114,6	18,6
29.08.2007	228,2	134,0	160,1	-	-
17.02.2006	168,0	70,7	5,3	-	-
05.06.2003	123,5	24,5	4,4	22,6	23,3
05.07.1999	109,4	38,6	16,2	-	-
11.09.2004	104,2	15,4	1,7	44,2	10,5

3.4 Abtrag pro Niederschlagsereignis

Von den insgesamt 78 Erosionsereignissen hatten mehr als die Hälfte einen Bodenabtrag von weniger als 10 t Boden im gesamten Untersuchungsgebiet und sind damit als wenig relevant einzustufen, machen sie doch zusammen nur 7 % der Abtragsmenge aller Erosionsereignisse der Untersuchungsperiode aus (Abbildung 3). Die sechs größten Einzelereignisse mit > 100 t Boden im Untersuchungsgebiet (8 % aller Ereignisse) verursachten dagegen über 50 % des gesamten Bodenabtrags aller Erosionsereignisse. Diese sechs Abtragsereignisse fanden in sechs verschiedenen Jahren und sechs verschiedenen Monaten statt (Tabelle 5). Bei drei dieser Ereignisse hatten die erosiven Niederschläge an den Vortagen wahrscheinlich einen großen Einfluss.

Die drei größten Abtragsereignisse werden nachfolgend kurz charakterisiert:

– 3. November 1998: Sieben aufeinanderfolgende erosive Niederschläge mit insgesamt 157 mm Niederschlag in 12 Tagen führten zu gesättigten Böden. Der Abtrag von 274 t Boden verteilt sich auf 44 Parzellen im Untersuchungsgebiet (= 22 % aller Parzellen), 10 Parzellen davon – alle mit Winterweizen – hatten einen Abtrag von mehr als 10 t Boden. Der Maximalwert einer Parzelle betrug 49,5 t Boden.

– 28. August 2007: Ein extremes Starkregenereignis mit 134 mm Niederschlag und einem R_c -Wert von 160 N/h führte auf 17 Parzellen (= 8 % aller Parzellen) zu Erosion mit insgesamt 228,2 t Bodenabtrag. Auf fünf Parzellen betrug der Abtrag mehr als 10 t Boden, der maximale Abtragswert lag bei 89,1 t Boden auf einer Parzelle mit Kartoffeln. Neben Kartoffelfeldern waren vor allem frisch bearbeitete Felder im Saatbettzustand und mit Kunstwiese- oder Zwischenkulturansäen betroffen.

– 17. Februar 2006: Drei erosive Niederschlagsereignisse innerhalb von drei Tagen mit gesamthaft 70,7 mm Niederschlag waren der Erosionsauslöser. Regen auf gefrorenen Boden in Zusammenspiel mit Schneeschmelze führte auf 47 Parzellen (= 23 % aller Parzellen) im Untersuchungsgebiet zu Erosion. Sieben Parzellen hatten einen Abtrag von mehr als 10 t Boden, der Maximalwert betrug 28,8 t Boden. Betroffen von Erosion waren vor allem Parzellen mit Winterweizen, aber auch mit Triticale, Wintergerste sowie Schwarzbrache.

Betrachtet man den Bodenabtrag pro Parzelle und pro Abtragsereignis, ergibt sich ein ähnliches Bild wie beim Gesamtabtrag im Untersuchungsgebiet (Abbildung 4). Von

den insgesamt 919 Abtragsereignissen auf einzelnen Parzellen in der gesamten Untersuchungsperiode hatten über zwei Drittel einen Abtrag von weniger als 1 t Boden, sie machen aber insgesamt nur 10 % der gesamten Abtragsmenge des Untersuchungsgebietes aus. 47 Parzellen (= 5 %) hatten einen Abtrag von > 10 t Boden pro Ereignis. Diese wenigen Parzellen machen aber über 50 % der gesamten Abtragsmenge des Untersuchungsgebietes aus.

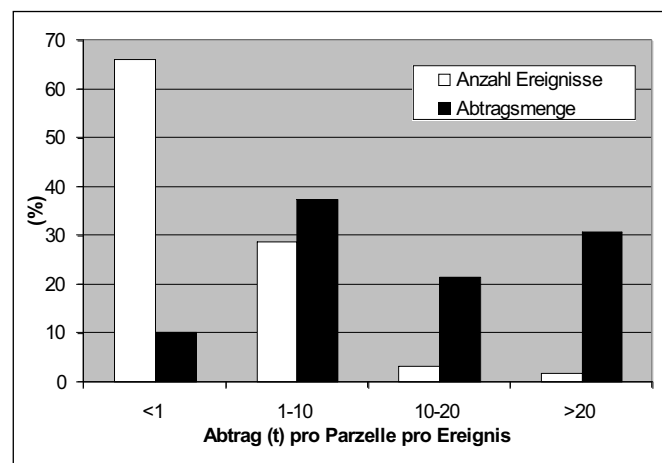
4 Diskussion

Bei 78 Erosionskartierungen in 10 Jahren in einem Untersuchungsgebiet mit 203 Ackerparzellen wurden 919 Abtragsereignisse auf einzelnen Parzellen kartiert. Alle 78 Kartierungen und Auswertungen wurden von demselben, erfahrenen Kartierer durchgeführt. Die Qualität und Kohärenz der gesammelten Daten ist daher bestmöglich. Die 2030 Parzellenjahre stellen eine solide und ausreichende Datenbasis für statistische Auswertungen und generelle Aussagen zur Erosion der untersuchten Region dar.

Die Erosivität der Niederschläge ist mit einem mittleren R-Faktor von 152 N/h hoch. Sie ist damit deutlich höher als die für das Schweizer Mittelland von MOSIMANN et al. (1990) angegebenen Werte von 70–80 N/h und die von PRASUHN (1991) über 7 bzw. 6 Jahre ermittelten R-Fakto-

Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung von Bodenabtrag pro Parzelle und Niederschlagsereignis. Prozentualer Anteil an allen Ereignissen ($n = 919$) und am Gesamtabtrag (1969 t) der Untersuchungsperiode

Figure 4: Frequency distribution of soil loss per field plot and precipitation event. Percentage of all events ($n = 919$) and the total soil loss (1969 t) for the investigation period



ren von 115 und 105 N/h bei durchschnittlich 1005 mm Jahresniederschlag im Schweizer Tafeljura. Sie liegt auch deutlich über den Werten der meisten der 17 Messstationen aus Bayern und 15 Messstationen aus Österreich (ROGLER & SCHWERTMANN, 1981; STRAUSS et al., 1995). Zum einen lag die Jahresniederschlagsmenge der 10 Jahre 10 % über dem langjährigen Mittel, zum anderen gab es mehrere Extremereignisse mit sehr hohen R_c -Werten, die auch zu hohen R_{Jahr} -Werten geführt haben. Für andere Messstationen des Schweizer Mittellandes standen nur Vergleichswerte von zwei Jahren zur Verfügung. Die Station Mühleberg (ca. 15 km südwestlich) hatte eine R-Faktor von 126 N/h, die Station Bern-Liebefeld (ca. 20 km südöstlich) einen R-Faktor von 94 N/h, während die Station Lyss einen R-Faktor von 139 N/h für diese zwei Jahre aufwies und damit deutlich höher lag.

Die Variation des Bodenabtrages ist von Jahr zu Jahr sehr groß und hat für die 10 Untersuchungsjahre einen Faktor 10 zwischen dem kleinsten und größten Jahreswert. Langjährige Untersuchungen sind daher für die Bestimmung mittlerer Gebietsabtragswerte unerlässlich. Auch BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK (1993) geben für eine 10-jährige Periode (1982–91) mit Erosionsschadenskartierungen in South Downs, Großbritannien, für den durchschnittlichen Jahresabtrag im Gebiet Werte zwischen 0,5 und 5,0 m³/ha und damit ebenfalls Faktor 10 an. EVANS (1993) stellte bei seinen Erosionsschadenskartierungen an 17 Orten in Großbritannien und Wales von 1982–86 mit mittleren Gebietsabtragswerten von 0,5–4,0 m³/ha ebenfalls eine große Variation fest. Die große jährliche Variation des Bodenabtrags ist aber nicht ausschließlich eine Folge der großen Unterschiede der Jahresniederschlagsmengen oder R-Faktoren. Die Beziehung zwischen jährlichem Bodenabtrag im Gebiet und Jahresniederschlag bzw. R-Faktor ist nur schwach. Hohe Niederschlagsmengen oder eine große Erosivität der Niederschläge führen nicht zwangsläufig zu Erosionsschäden im Gebiet. Das zeitliche Zusammenspiel von Niederschlag und anderen Faktoren wie Kulturen, Bodenbedeckung, Bodenbearbeitung oder Bodenfeuchte ist entscheidend (EVANS, 2002; BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK, 1993). Ist die Bodenoberfläche durch Kulturen oder Mulch gut gegen die Kraft der aufprallenden Regentropfen geschützt und hat der Boden eine gute Bodenstruktur und hohe Infiltrationskapazität, führen auch Niederschläge mit hoher Erosivität zu keiner Erosion. In der Untersuchungsperiode führten z.B. Starkregen mit hoher Erosivität im Juli (13.07.2002 mit 35 N/h, 30.07.2003 mit 41 N/h) bei guter Bodenbedeckung sämtlicher Parzellen durch die Kulturen zu keiner

sichtbaren Erosion, während vergleichsweise schwache Niederschläge mit 4 N/h z.B. am 02.11.2002 bei gesättigten Böden und vielen Parzellen mit schlechter Bodenbedeckung im Gebiet hohe Erosion verursachten. Nach BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK (1993) können geringe Niederschlagsintensitäten vor allem im Winter Erosion auslösen.

Erosion fand im Sommerhalbjahr und im Winterhalbjahr zu etwa gleichen Teilen statt. Die monatliche Variation war sehr groß, die sechs größten Abtragsereignisse in 10 Jahren gab es in sechs verschiedenen Monaten. Diese Erkenntnis ist für die Maßnahmenplanung wichtig. Schutzmaßnahmen dürfen sich nicht nur auf die im Frühjahr gesäten Kulturen Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln konzentrieren, sondern müssen auch auf die Herbstsaat vor allem von Winterweizen sowie auf Parzellen mit Schwarzbrache ausgedehnt werden. Besonders erosionsreiche Monate waren der August und Juni sowie November und Februar. Zur jahreszeitlichen Verteilung von Erosion gibt es in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben. Einige Autoren weisen auf die Bedeutung von Starkregenerereignissen für hohe Erosion im Spätfrühjahr und Frühsommer hin (z.B. GOVERS, 1991), andere im Sommer (z.B. VANDAELE & POESEN, 1995). BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK (1993) wiederum fanden hohe Erosion in den Wintermonaten bei Wintergetreide. Nach SKINNER & CHAMBERS (1996) stammten 85 % der an 17 Orten in Großbritannien und Wales von 1982–86 gemessenen Abträge aus den Monaten April/Mai, während im Januar, Februar und November nur sehr wenig Erosion zu verzeichnen war.

Der große Einfluss von Einzelereignissen, auf den BOARDMAN (2006) hinweist, wird auch in dieser Studie deutlich. Die sechs größten Abtragsereignisse der Untersuchungsperiode trugen zu über 50 % der gesamten Abtragsmenge bei, die drei größten erreichten 34 %. Ähnliche Beobachtungen wurden auch von anderen Autoren gemacht. Nach Untersuchungen von EDWARDS & OWEN (1991) führten die drei größten Einzelereignisse in neun Einzugsgebieten der USA zu über 50 % des gesamten Bodenabtrages über 28 Jahre in diesen Gebieten. OGERMANN et al. (2003) berichten, dass 50 % des Gesamtabtrages aus 12 Erosionsschadenskartierungsjahren im Schweizer Jura von den drei größten Abtragsereignissen resultierten. Nach BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK (1999) stammten 71 % des gesamten Bodenabtrages von 10 Jahren aus den drei abtragsreichsten Jahren. Die statistische Verteilung der Abtragswerte ist nach EVANS (2002) bei allen Erosionsstudien im Feld – wie auch bei der vorliegenden – markant links schief verteilt.

5 Schlussfolgerungen

Die feldbezogene Erosionsschadenskartierung erlaubt Aussagen über die Häufigkeit, das Ausmaß und die räumliche Verteilung von Erosion in einer Landschaft. Das Langzeit-Monitoring zeigt deutlich, dass zuverlässige Aussagen über mittlere Bodenabträge eines Gebietes nur über Messungen von 10 Jahren und mehr möglich sind. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass nur ein kleiner Teil der Ackerparzellen eines Gebietes gravierende Erosionsschäden aufweist. Dabei spielen Extremereignisse eine entscheidende Rolle. Solche Ereignisse können zu jeder Jahreszeit stattfinden und sind weniger durch die Intensität der Niederschläge beeinflusst als vielmehr durch den Zeitpunkt der Niederschläge und den Zustand der Ackerparzellen an diesem Zeitpunkt (Bodenbedeckung etc.). Für die landwirtschaftliche Beratung und Maßnahmenplanung ist dies zentral. Maßnahmen sollten sich auf die „kritischen Flächen“ konzentrieren und müssen für Sommer- und Winterkulturen gelten. Die Untersuchungen werden fortgesetzt, denn der Wert solcher Datenreihen steigt mit der Dauer der Zeitperiode (BRAZIER, 2004). Die Ergebnisse sollen auch für die Validierung von Erosionsmodellen wie z.B. bei EVANS & BRAZIER (2005) genutzt werden.

Literatur

- ALSTRÖM, K. and A. BERGMAN ÅKERMAN (1992): Contemporary soil erosion rates on arable land in southern Sweden. *Geografiska Annaler* 74, 2/3, 101–108.
- AUZET, A.V., J. BOIFFIN, F. PAPY, B. LUDWIG and J. MAUCROPS (1993): Rill erosion as a function of the characteristics of cultivated catchments in the north of France. *CATENA* 20, 41–62.
- BOARDMAN, J. (1998): An average soil erosion rate for Europe: Myth or reality? *Journal of Soil and Water Conservation* 53(1), 46–50.
- BOARDMAN, J. (2006): Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *CATENA* 68, 73–86.
- BOARDMAN, J. and D.T. FAVIS-MORTLOCK (1993): Simple methods of characterizing erosive rainfall with reference to the South Downs, southern England. In: WICHEREK, S. (Ed.): *Farm land erosion in temperate plains environment and hills*. Elsevier, Amsterdam, 17–29.
- BOARDMAN, J. and D.T. FAVIS-MORTLOCK (1999): Frequency-magnitude distributions for soil erosion, runoff and rainfall – a comparative analysis. *Zeitschrift f. Geomorphologie NF, Supplementband* 115, 51–70.
- BOARDMAN, J. and J. POESEN (2006): Soil Erosion in Europe: Major processes, causes and consequences. In: BOARDMAN, J. and J. POESEN (Eds.): *Soil erosion in Europe*. John Wiley and Sons Ltd, 479–487.
- BOARDMAN, J., M.L. SHEPHEARD, E. WALKER and I.D.L. FOSTER (2009): Soil erosion and risk-assessment for on- and off-farm impacts: A test case using the Midhurst area, West Sussex, UK. *Journal of Environmental Management* 90(8), 2578–2588.
- BRAZIER, R. (2004): Quantifying soil erosion by water in the UK: a review of monitoring and modelling approaches. *Progress in Physical Geography* 28(3), 340–365.
- CASALÍ, J., J. LOIZU, M.A. CAMPO, L.M. DE SANTISTEBAN and J. ÁLVAREZ-MOZOS (2006): Accuracy of methods for field assessment of rill and ephemeral gully erosion. *CATENA* 67, 128–138.
- CERDAN, O., Y. LE BISSONNAIS, A. COUTURIER, H. BOURENNANE and V. SOUCHÈRE (2002): Rill erosion on cultivated hillslopes during two extreme rainfall events of Normandy, France. *Soil and Tillage Research* 67, 99–108.
- DVWK (1996): Bodenerosion durch Wasser. Kartieranleitung zur Erfassung aktueller Erosionsformen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 239, Kommissionsvertrieb Wirtschaft- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- EDWARDS, W.M. and L.B. OWENS (1991): Large storm effects on total soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation* 46 (1), 75–78.
- EVANS, R. (1993): Extent, frequency and rates of rilling of arable land in localities in England and Wales. In: WICHEREK, S. (Ed.): *Farm land erosion in temperate plains environment and hills*. Elsevier, Amsterdam, 177–190.
- EVANS, R. (2002): An alternative way to assess water erosion of cultivated land – field-based measurements and analysis of some results. *Applied Geography* 22, 187–208.
- EVANS, R. (2005): Monitoring water erosion in lowland England and Wales – A personal view of its history and outcomes. *CATENA* 64, 142–161.
- EVANS, R. and R. BRAZIER (2005): Evaluation of modelled spatially distributed predictions of soil erosion by water versus field-based assessments. *Environmental Science and Policy* 8, 493–501.
- GOVERS, G. (1991): Rill erosion on arable land in central Belgium: rates, controls and predictability. *CATENA* 18, 133–155.
- LEDERMANN, T., K. HERWEG, H.P. LINIGER, F. SCHNEIDER, H. HURNI and V. PRASUHN (2008): Erosion damage

- mapping: assessing current soil erosion damage in Switzerland. In: DAZZI, C. and E. COSTANTINI (Eds.). *The soils of tomorrow. Advances in GeoEcology* 39, 263–284.
- LEDERMANN, T., K. HERWEG, H.P. LINIGER, F. SCHNEIDER, H. HURNI und V. PRASUHN (2010): Applying erosion damage mapping to assess and quantify off-site effects of soil erosion in Switzerland. *Land Degradation and Development* 21, 353–366.
- LUDWIG, B., J. BOIFFIN, J. CHADOEUF and A.V. AUZET (1995): Hydrological structure and erosion damage caused by concentrated flow in cultivated catchments. *CATENA* 25, 227–252.
- MOSIMANN, T., J. BUG, S. SANDERS und F. BEISIEGEL (2009): Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen 2000–2008. Methodik, Erosionsgeschehen, Bodenabträge und Anwendung der Ergebnisse. *Geosynthesis* 14, Hannover.
- MOSIMANN, T., A. CROLE-REES, A. MAILLARD, J.A. NEYROUD, M. THÖNI, A. MUSY und W. ROHR (1990): Bodenerosion im Schweizerischen Mittelland: Ausmass und Gegenmassnahmen. NFP-Bericht, Nr. 51, Liebefeld-Bern, 262.
- OGERMANN, P., S. MEIER und H. LESER (2003): Ergebnisse langjähriger Bodenerosionskartierungen im Schweizer Tafeljura. *Landnutzung und Landentwicklung* 44/4, 151–160.
- ØYGARDEN, L. (2003): Rill and gully development during an extreme winter runoff event in Norway. *CATENA* 50, 217–242.
- PRASUHN, V. (1991): Bodenerosionsformen und -prozesse auf tonreichen Böden des Basler Tafeljura (Raum Anwil) und ihre Auswirkungen auf den Landschaftshaushalt. *Physiogeographica. Basler Beiträge z. Physiogeographie* Bd. 16, Basel.
- PRASUHN, V. (2005): Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Erosion. *Schriftenreihe der FAL* 57, Zürich, 108–111.
- PRASUHN, V., und K. GRÜNIG (2001): Evaluation der Ökomaassnahmen. Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. *Schriftenreihe der FAL* 37, Zürich.
- ROGLER, H. und U. SCHWERTMANN (1981): Erosivität der Niederschläge und Isoerodentkarte Bayerns. *Zeitschrift f. Kulturtechnik und Flurbereinigung* 22, 99–112.
- ROHR, W., T. MOSIMANN, R. BONO, R. RÜTTIMANN und V. PRASUHN (1990): Kartieranleitung zur Aufnahme von Bodenerosionsformen und -schäden auf Ackerflächen. *Legende, Erläuterungen zur Kartiertechnik, Schadensdokumentation und Fehlerabschätzung. Materialien zur Physiogeographie* 14, Basel.
- SCHAUB, D. and V. PRASUHN (1993): The role of test plot measurements in a long-term soil erosion research project in Switzerland. In: WICHEREK, S. (Ed.): *Farm land erosion in temperate plains environment and hills*. Elsevier, Amsterdam, 111–123.
- SCHWERTMANN, U., W. VOGL und M. KAINZ (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmassnahmen. Ulmer, Stuttgart.
- SKINNER, R.J. and B.J. CHAMBERS (1996): A survey to assess the extent of soil water erosion in lowland England and Wales. *Soil Use and Management* 12(4), 214–220.
- STRAUSS, P., K. AUERSWALD, E. KLAGHOFER und W.E.H. BLUM (1995): Erosivität von Niederschlägen: Ein Vergleich Österreich – Bayern. *Zeitschrift f. Kulturtechnik und Landentwicklung* 36, 304–308.
- VANDAELE, K. and J. POESEN (1995): Spatial and temporal patterns of soil erosion rates in an agricultural catchment, central Belgium. *CATENA* 25, 213–226.
- VAN DIJK, P.M., A.V. AUZET and M. LEMMEL (2005): Rapid assessment of field erosion and sediment transport pathways in cultivated catchments after heavy rainfall events. *Earth Surface Processes and Landforms* 30, 169–182.
- WATSON, A. and R. EVANS (1991): A comparison of estimates of soil erosion made in the field and from photographs. *Soil and Tillage Research* 19(1), 17–27.

Anschrift des Autors

Dr. Volker Prasuhn, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
E-Mail: volker.prasuhn@art.admin.ch

Eingelangt am 28. September 2009
Angenommen am 30. August 2010