

# Umwelt

## Bodenerosions-Gefährdungskarte der Schweiz

Volker Prasuhn<sup>1</sup>, Hanspeter Liniger<sup>2</sup>, Hans Hurni<sup>2</sup> und Simon Friedli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8046 Zürich

<sup>2</sup>Geografisches Institut Universität Bern, Centre for Development and Environment CDE, CH-3008 Bern

Auskünfte: Volker Prasuhn, E-Mail: volker.prasuhn@art.admin.ch, Fax +41 44 377 72 01, Tel. +41 44 377 71 45

### Zusammenfassung

**D**ie Bodenerosions-Gefährdungskarte gibt einen nationalen Überblick über das Abtragsrisiko der Schweizer Böden und vor allem für die Ackerböden. Mit Hilfe einer angepassten Version des empirischen Erosionsmodells «Universal Soil Loss Equation» (USLE) wurde die langfristige Bodenerosionsgefährdung flächendeckend im Hektar-raster berechnet. Die Bodenerosions-Gefährdungskarte soll den Kantonen als Grundlage dienen, detaillierte Karten zu erstellen oder besonders gefährdete Gebiete vertieft zu untersuchen. Unter der Annahme, dass alle Ackerflächen mit dem Pflug bearbeitet und keine Zwischenfrüchte angebaut werden, weisen bei heutiger Fruchtfolgegestaltung 61 % aller Ackerflächen einen langjährigen mittleren Bodenabtrag von unter zwei Tonnen pro Hektare und Jahr auf und sind damit als wenig erosionsgefährdet einzustufen. 22 % liegen im kritischen Bereich zwischen zwei und vier Tonnen pro Hektare und Jahr, 17 % sind mit mehr als vier Tonnen pro Hektare und Jahr als stark erosionsgefährdet zu bezeichnen. Die räumliche Verteilung der Abtragswerte zeigt ein sehr heterogenes Muster innerhalb der Hauptackerbau-Regionen ohne räumlich konzentrierte Schwerpunktreionen. In einer Szenario-Berechnung, bei der die Bodenbearbeitung mit dem Pflug durch Direkt-saat sowie Winterbrache durch Zwischenkulturanbau flächendeckend ersetzt werden, reduziert sich das Bodenerosionsrisiko im Durchschnitt um rund zwei Drittel.



Abb. 1. Bodenerosion auf Ackerflächen beeinträchtigt die Bodenfruchtbarkeit. Beispiel: Kartoffelacker in der Region Frienisberg (BE) am 28. April 2006. (Foto: Volker Prasuhn, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)

Bodenerosion ist in der Schweiz spätestens seit den Untersuchungen von Mosimann *et al.* (1991) im Rahmen des nationalen Forschungsprogramms «Boden» als öffentliches Problem erkannt worden. Sie führt nicht nur zur langfristigen Verminderung der Bodenfruchtbarkeit (Abb. 1), sondern auch zu unerwünschten Effekten ausserhalb der Ackerflächen, wie zum Beispiel zu Gewässerbelastungen mit Phosphor oder Schäden an Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen. Bodenerosion verursacht dadurch volkswirtschaftliche Kosten. Gesetzliche Grundlagen zur Verminderung von Bodenerosion wurden daher geschaffen, zum Beispiel die Direktzahlungsverordnung Art. 8 und 9 (SR 910.13 1998) sowie die Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) Art. 6 und Anhang 3 (SR 814.12 1998). Sie sind in der Schweiz national geregelt und umfassender als in allen anderen europäischen Ländern (Vandekerckhove *et al.* 2004). Der Vollzug obliegt den Kantonen, wofür diese praxistaugliche Instrumente benötigen. Da es keine einheitlichen, verbindlichen Vorgaben und auch kein für die ganze Schweiz validiertes Verfahren zur Erosionsbestimmung gibt, existieren verschiedene kantonale Ansätze. Eine hoch auflösende, nationale Übersichtskarte über die Bodenerosionsgefährdung, wie sie alle europäischen Nachbarländer vorweisen können (Vandekerckhove *et al.* 2004), fehlt

aber bislang für die Schweiz. Auch für die geplante Einführung eines Agrarumweltindikators «Erosionsrisiko» (Daniel *et al.* 2003) wurde die Erstellung einer nationalen Übersichtskarte als Grundlage gefordert.

Die «Universal Soil Loss Equation» (USLE, siehe Kasten) von Wischmeier und Smith (1978) ist das weltweit am häufigsten verwendete Bodenerosionsmodell (Lafien und Moldenhauer 2003). Sie wurde für den Einsatz in Bayern angepasst (Allgemeine Bodenabtragsgleichung ABAG, Schwertmann *et al.* 1990) und wird in dieser und weiteren adaptierten Formen in Mitteleuropa häufig verwendet (DIN 19708, Mollenhauer *et al.* 2006). Entsprechend existieren viele Resultate und Erfahrungen zur Anwendung des Modells (Deumlich *et al.* 2006). Der grosse Vorteil dieses empirischen Modells ist, dass die benötigten Grundlagendaten vergleichsweise einfach beschafft werden können und dass die Möglichkeit besteht, Entwicklungen der Bodenabtragsgefährdung aufgrund von Veränderungen bei der Bodennutzung und -bewirtschaftung aufzuzeigen.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde die Bodenerosionsgefährdung für die Schweiz mit Hilfe der USLE beziehungsweise der ABAG sowie unter zu Hilfe-nahme eines Geografischen Informationssystems (GIS) aufgezeigt (Friedli 2006). Die Berechnungen wurden einerseits flächendeckend für die gesamte Schweiz, andererseits für die Landwirtschaftliche Nutzfläche sowie nur für das Ackerland durchgeführt und jeweils in Karten visualisiert. Im Folgenden werden nur ausgewählte Ergebnisse für das Ackerland vorgestellt.

#### Das Modell Universal Soil Loss Equation (USLE)

Mit der USLE beziehungsweise der ABAG wird der langjährige, mittlere Bodenabtrag (A) aus dem Produkt von sechs Einflussfaktoren berechnet:

$A = R * K * L * S * C * P$ , wobei

R = Niederschlagsfaktor

K = Bodenfaktor

L = Hanglängenfaktor

S = Hangneigungsfaktor

C = Bodenbedeckungs- und -bearbeitungsfaktor

P = Erosionsschutzfaktor

#### Digitale Karte des Ackerlandes

Da in der Schweiz keine digitale Karte des derzeit genutzten Ackerlandes existiert, musste diese in einem ersten Schritt erstellt werden. Gemäss landwirtschaftlicher Betriebsstrukturhebung 2004 umfasst das in der Schweiz liegende Ackerland, inklusive Kunstwiesen, 400'885 ha. Der im Hektarraster digital vorliegende Datensatz der Arealstatistik 1992/97 weist für das günstige Wies- und Ackerland 547'754 ha und das übrige Wies- und Ackerland 289'375 ha aus, zusammen also 837'129 ha. Finger (2004) hat eine Fläche von 462'173 ha als potenziell ackerfähiges Land ausgeschieden, in dem er das Wies- und Ackerland der Arealstatistik mit der digitalen Bodeneignungskarte, der digitalen Klimaeignungskarte und dem digitalen Geländemodell DHM25 unter Berücksichtigung bestimmter Reliefkriterien, unter 900 m ü. M. und weniger als 20 % Hangneigung, verschnitten hat. Das potenziell ackerfähige Land wurde zunächst als Grundlage zur Ausscheidung des tatsächlich genutzten Ackerlandes verwendet und mit den Daten der landwirtschaftlichen Betriebsstrukturhebung 2004 auf Bezirksebene abgeglichen und bereinigt. In Bezirken, die mehr ackerfähige Hektaren aufwiesen als gemäss landwirtschaftlicher Betriebsstrukturhebung vorkommen, wurden überzählige Hek-

taren durch Zufallsverteilung im GIS eliminiert. In Bezirken, die weniger ackerfähige Hektaren aufwiesen als gemäss landwirtschaftlicher Betriebsstrukturhebung vorkommen, wurde zusätzlich das Wies- und Ackerland der Arealstatistik herangezogen und wiederum überzählige Hektaren durch Zufallsverteilung im GIS eliminiert. Die resultierende Karte des Ackerlandes der Schweiz ist somit nur eine Annäherung an die räumliche Verteilung des tatsächlich genutzten Ackerlandes. Bedingt durch die Zufallsverteilung und die gewählten Kriterien in Bezug auf Relief und Boden der potenziell ackerfähigen Fläche können einzelne Hektarraster durchaus an einer falschen Stelle liegen.

#### Niederschlagserosivität (R-Faktor)

Der R-Faktor beschreibt die erosive Kraft aufprallender Regentropfen und kann über eine Regressionsgleichung aus den mittleren Jahresniederschlägen abgeschätzt werden. Die Jahresniederschläge lagen aus dem Hydrologischen Atlas der Schweiz im Kilometerraster vor und wurden durch kubische Interpolation ins Hektarraster überführt. Abweichend vom Originalmodell wurde einerseits eine Reduktion des R-Faktors vorgenommen, indem über eine weitere Regressionsgleichung der prozentuale Schneeanteil am Niederschlag in Abhängigkeit von der Gebiets-

höhe ermittelt und abgezogen wurde. Andererseits wurde ein Zuschlag auf den R-Faktor auf der Basis von stündlichen extremen Punktregnen mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 2,3 Jahren aus dem Hydrologischen Atlas der Schweiz vorgenommen. Der mittlere R-Faktor für das Schweizer Ackerland beträgt 87 Newton pro Stunde. Die Mittelwerte der R-Faktoren der Kantone unterscheiden sich nur wenig (Tab. 1).

### Bodenerodibilität (K-Faktor)

Die Erosionsanfälligkeit des Bodens wurde aus Angaben zu Körnung, Skelettgehalt, Humusgehalt und Wasserdurchlässigkeit der digitalen Bodeneigungskarte der Schweiz 1:200 000 abgeleitet und mit Angaben aus den vorhandenen Bodenkarten 1:25 000 und Literaturangaben abgeglichen. In Absprache mit Bodenexperten wurde darauf aufbauend eine Einteilung in fünf Gefährdungsklassen vorgenommen. Da flächendeckend für die Schweiz keine höher auflösende Bodenkarte verfügbar ist, stellt dies nur eine grobe Klassierung dar. Der K-Faktor ist damit von allen Modellfaktoren jener mit der schlechtesten räumlichen Auflösung. Dem grössten Teil der

Ackerböden wurde eine mittlere Bodenerodibilität zugesprochen. Bei den Mittelwerten der K-Faktoren der Kantone zeigen sich keine grossen Unterschiede (Tab. 1).

### Topographiefaktor (LS-Faktor)

Der Einfluss des Reliefs auf die Erosion wurde über den Hangneigungsfaktor (S) und den Hanglängenfaktor (L) bestimmt. Grundlage bildet das digitale Höhenmodell DHM100, da ein Hektarraster basierend auf der Arealstatistik der Schweiz als Grundlage gewählt wurde. Der LS-Faktor wurde abweichend vom Originalmodell nach Renard *et al.* (1997) berechnet, weil das Originalmodell nur für Hangneigungen bis 18% gesichert ist und für grössere Hangneigungen zu hohe Werte liefert. Die Hanglänge wurde pauschal mit 100 Metern angenommen, da keine flächendeckenden digitalen Datensätze zur tatsächlichen Hanglänge verfügbar sind. In den Kantonen Bern, Basel-Landschaft, Neuenburg und Schaffhausen liegen überdurchschnittlich viele Ackerflächen in steileren Hanglagen, in den Kantonen St. Gallen und Genf überdurchschnittlich viele in ebenen Lagen (Tab. 1).

### Bodenbedeckungsfaktor (C-Faktor)

Der C-Faktor gibt die relative Veränderung des Bodenabtrags bei einer bestimmten Bewirtschaftung gegenüber dem Abtrag bei langjähriger Schwarzbearbeitung unter sonst gleichen Standortbedingungen an. Wald und Grasland schützen den Boden am besten und weisen entsprechend niedrige C-Faktoren auf. Da der Schwerpunkt der Arbeit bei der Abschätzung der Bodenerosionsgefährdung des Ackerlandes lag und da für unterschiedliche Nutzungsintensitäten bei Wald und Grasland für die Schweiz keine gesicherten Erkenntnisse bezüglich Abtragshöhe existieren, wurde für Wald und Grasland pauschal ein Wert von 0,003 eingesetzt. Beim Ackerland wird der C-Faktor normalerweise für eine Fruchtfolge inklusive Zwischenfruchtanbau und unter Berücksichtigung der Bodenbearbeitungsverfahren berechnet.

Da entsprechende Angaben schweizweit nicht vorliegen, wurde auf Daten der landwirtschaftlichen Betriebsstrukturerhebungen der Jahre 2002, 2003 und 2004 zurückgegriffen, wo Flächenangaben nach Gemeinde zu den jeweils angebauten Haupt-

**Tab. 1. Mittelwerte von R-, K-, LS-, C- und P-Faktoren des Ackerlandes pro Kanton** (nur Kantone mit mehr als 5'000 ha Ackerfläche)

Kanton	R-Faktor	K-Faktor	LS-Faktor	C-Faktor	P-Faktor
Schaffhausen	74	0,32	2,28	0,094	0,88
Aargau	89	0,28	1,90	0,074	0,88
Basel-Landschaft	83	0,34	2,40	0,055	0,88
Zürich	89	0,27	1,51	0,087	0,88
Bern	89	0,34	2,60	0,053	0,88
Waadt	84	0,32	1,30	0,082	0,88
Freiburg	85	0,34	1,46	0,063	0,88
Jura	86	0,33	1,81	0,052	0,88
Thurgau	81	0,28	1,22	0,085	0,88
Neuenburg	92	0,26	2,31	0,041	0,88
Solothurn	87	0,30	1,45	0,062	0,88
Luzern	97	0,30	1,70	0,038	0,88
St. Gallen	104	0,33	0,60	0,068	0,88
Genf	82	0,27	0,61	0,087	0,88

kulturen vorliegen. Zunächst wurden kulturspezifische C-Faktoren sämtlicher Hauptkulturen bei konventioneller Bodenbearbeitung (Pfluganbau) bestimmt. Anschliessend wurde für jede Gemeinde entsprechend dem prozentualen Anteil der Hauptkulturen an der Ackerfläche über ein additives Verfahren ein gemeindespezifischer C-Faktor ermittelt. Dieser wurde noch modifiziert, in dem zum einen die im Winter maximal brach liegende Fläche anhand des Anbaus der Sommerkulturen pro Gemeinde abgeschätzt und mit einem Zuschlag zum C-Faktor berücksichtigt wurde. Zum anderen wurde bei einem hohen Anteil an Kunstwiesen eine Abminderung des C-Faktors vorgenommen, da mehrjährige Kunstwiesen eine positive Wirkung auf den Boden (Humusgehalt, Aggregatstabilität, biologische Aktivität, etc.) und damit auf die Bodenerosionsgefährdung nachfolgender Kulturen haben («Carry-over-Effekt», Wischmeier und Smith 1978). Jeder Ackerfläche in einer bestimmten Gemeinde wurde also der gleiche gemeindespezifische mittlere C-Faktor zugeteilt, unter der Annahme, dass mit Pflug und ohne Zwischenkultur angebaut wird. Die berechneten gemeindespezifischen C-Faktoren schwanken zwischen 0,008, das heisst hoher Anteil an Kunstwiesen, und 0,278, also hoher Anteil an Gemüse und Hackfrüchten, bei einem Mittelwert von 0,068. Regionen mit hohen C-Faktoren und damit aufgrund der angebauten Kulturen – ohne Berücksichtigung von Boden und Relief – besonders erosionsgefährdete Gebiete sind das Seeland, das Orbetal, das Rhonetal am Genfersee und das Zürcher Unter- und Weinland; Regionen mit niedrigen C-Faktoren sind die Voralpen und der Jura (Abb. 2).

### Erosionsschutzfaktor (P-Faktor)

Im P-Faktor werden die Schutzwirkung von Konturnutzung und Streifenanbau quantifiziert. Da für das Ackerland entsprechende Angaben in der Schweiz nicht flächendeckend und digital existieren, musste auf Resultate aus einer Fallstudie (Prasuhn 2005) und auf Angaben aus der Literatur (Mollenhauer *et al.* 2006) zurückgegriffen werden. Es wurde pauschal für

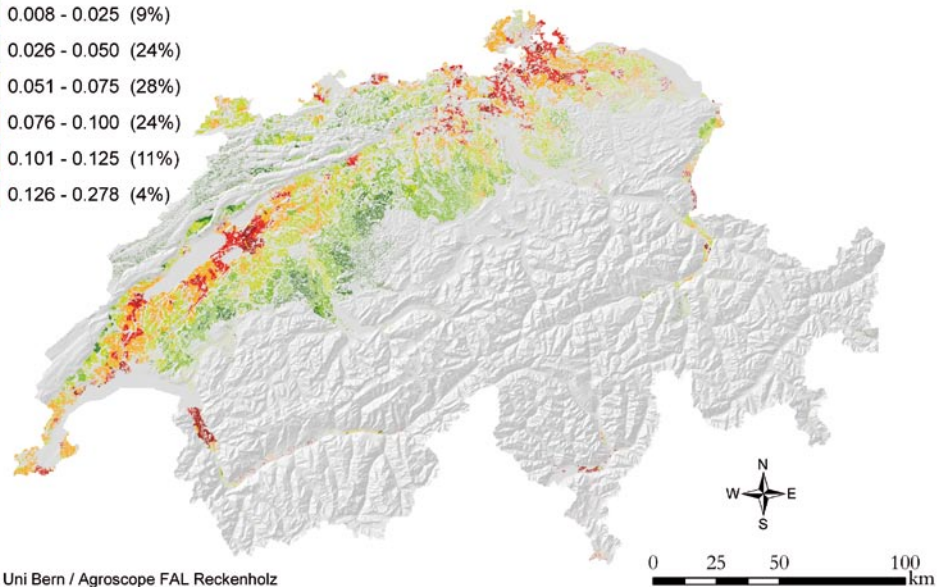
alle Ackerflächen ein Wert von 0,88 verwendet, da viele Ackerflächen in der Schweiz mehr oder weniger parallel beziehungsweise schräg zum Hang bearbeitet werden.

### Potenzielle Bodenerosionsgefährdung

Die potenzielle Bodenerosionsgefährdung wird über die Faktoren R, K und LS berechnet (Abb. 3). Sie gibt den maximal möglichen Bodenabtrag

#### Klasseneinteilung

0.008 - 0.025	(9%)
0.026 - 0.050	(24%)
0.051 - 0.075	(28%)
0.076 - 0.100	(24%)
0.101 - 0.125	(11%)
0.126 - 0.278	(4%)

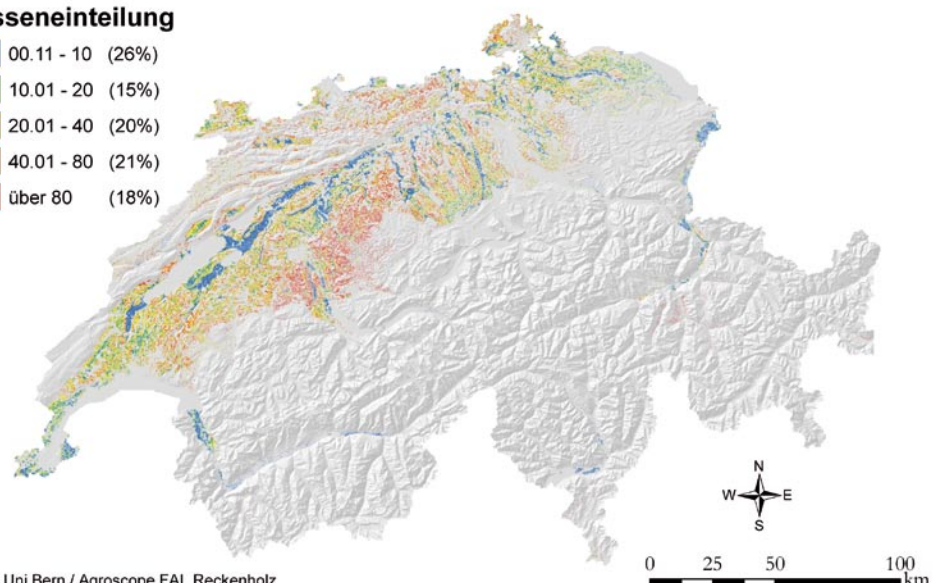


© CDE Uni Bern / Agroscope FAL Reckenholz

Abb. 2. Karte des Bodenbedeckungs- und -bearbeitungsfaktors (C-Faktor, dimensionslos) für Ackerflächen (Friedli 2006).

#### Klasseneinteilung

00.11 - 10	(26%)
10.01 - 20	(15%)
20.01 - 40	(20%)
40.01 - 80	(21%)
über 80	(18%)



© CDE Uni Bern / Agroscope FAL Reckenholz

Abb. 3. Karte der potenziellen Bodenerosionsgefährdung des Ackerlandes in Tonnen pro Hektare und Jahr (Friedli 2006).

unter natürlichen Standortbedingungen ohne Vegetation, das heisst bei Schwarzbrache, an und liegt meist um mehr als Faktor 10 über der aktuellen Bodenerosionsgefährdung. 41 % der Ackerflächen weisen potenzielle Bodenabträge von weniger als 20 t/ha und Jahr auf und sind als gering gefährdet einzustufen. Hierbei handelt es sich vor allem um Flächen in den Flusstälern und grossen Ebenen. 20 % der Ackerflächen liegen zwischen 20 und 40 t/ha und Jahr potenziellem Bodenabtrag und sind als mittel erosionsgefährdet einzustufen. 39 % der Ackerflächen haben potenzielle Bodenabträge über 40 t/ha und Jahr und sind als stark erosionsgefährdet zu betrachten. Sie liegen vor allem in steilen Hanglagen in der voralpinen Region, wie zum Beispiel im Emmental oder dem Schwarzenburgerland, und im Jura. Im Mittel aller Ackerflächen liegt die potenzielle Bodenerosionsgefährdung bei 48,5 t/ha und Jahr.

**Aktuelle Bodenerosionsgefährdung**

Für die aktuelle Bodenerosionsgefährdung werden die Werte der potenziellen Bodenerosionsge-

**Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo)**

Gemäss der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo), Anhang 3, beträgt der Richtwert für Erosion auf Ackerflächen zwei Tonnen pro Hektare und Jahr bis zu einer durchwurzelbaren Bodenmächtigkeit von 70 cm, bei einer durchwurzelbaren Bodenmächtigkeit von mehr als 70 cm beträgt er vier Tonnen pro Hektare und Jahr.

fährdung mit den Werten der C- und P-Faktoren verrechnet. 61 % aller Ackerflächen weisen einen langjährigen mittleren aktuellen Bodenabtrag von unter zwei Tonnen pro Hektare und Jahr auf und sind damit als wenig erosionsgefährdet einzustufen, wenn man die Richtwerte für Bodenerosion gemäss der VBBo betrachtet (siehe Kasten). 22 % liegen im kritischen Bereich zwischen zwei und vier Tonnen pro Hektare und Jahr, 17 % der Ackerflächen übersteigen die VBBo-Richtwerte in jedem Fall und sind als stark erosionsgefährdet einzustufen (Abb. 4). Grundsätzlich sind in nahezu allen Kantonen Ackerflächen mit hoher Erosionsgefährdung anzutreffen. Oft liegen sie am Rand von Hügellagen. Eindeutige, grossräumige Schwerpunktregionen sind nicht auszumachen. Der mittlere aktuelle Bodenabtrag auf Ackerland beträgt 2,1 t/ha und Jahr beziehungsweise

rund 840'000 t pro Jahr für das gesamte Schweizer Ackerland.

**Szenarien: Direktsaat und Zwischenkultur**

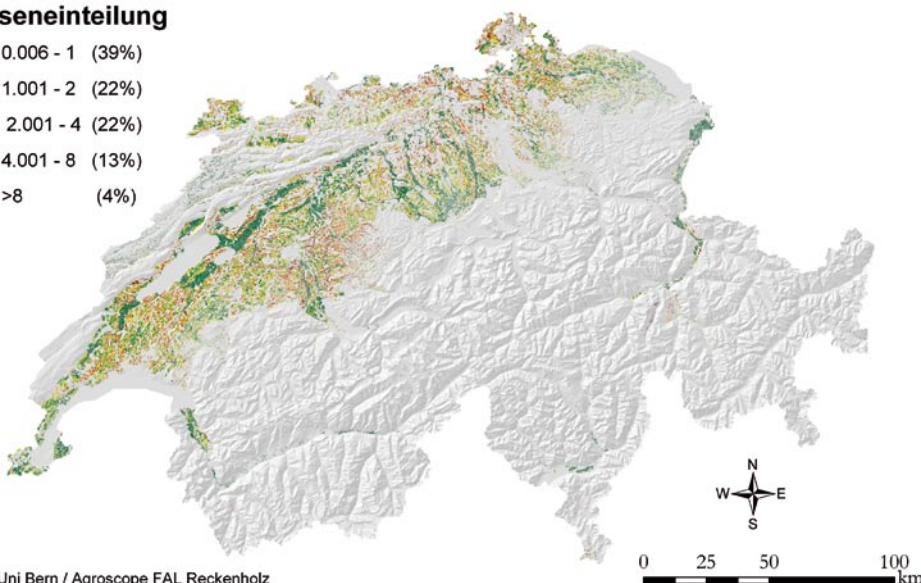
In einem Szenario wurden die C-Faktoren für den Fall berechnet, dass überall eine Zwischenkultur statt Winterbrache angebaut würde. Dies würde den C-Faktor um durchschnittlich neun Prozent senken. In einem anderen Szenario wurde zusätzlich noch der Anbau mit dem Pflug durch flächendeckende Direktsaat ersetzt, bei gleich bleibenden Kulturartenanteilen beziehungsweise gleicher Fruchtfolge. Dies würde eine massive Verminderung des C-Faktors von durchschnittlich 70 % bedeuten. Der berechnete Bodenabtrag von Ackerland in der Schweiz könnte durch das Szenario Direktsaat um 60 % auf 0,84 t/ha und Jahr beziehungsweise 336'220 t für die gesamte Ackerfläche und Jahr reduziert werden (Abb. 5).

**Bodenabtrag auf Kantonsebene**

Wertet man die Ergebnisse der Modellberechnungen auf Kantonsebene aus, ergibt sich ein differenziertes Bild (Tab. 1 und 2). Eine überdurchschnittlich hohe potenzielle Bodenerosionsgefährdung gibt es aufgrund vieler Ackerflächen in starken Hanglagen in den Kantonen Bern, Basel-Landschaft, Neuenburg, Luzern, Aargau und Schaffhausen, eine unterdurchschnittliche in den Kantonen Genf, St. Gallen und Thurgau, weil hier der grösste Teil der Ackerflächen in ebenen Lagen liegt. Bei der aktuellen Bo-

**Klasseneinteilung**

0.006 - 1	(39%)
1.001 - 2	(22%)
2.001 - 4	(22%)
4.001 - 8	(13%)
>8	(4%)



© CDE Uni Bern / Agroscope FAL Reckenholz

**Abb. 4. Karte der aktuellen Bodenerosionsgefährdung des Ackerlandes in Tonnen pro Hektare und Jahr (Friedli 2006).**



Abb. 5. Direktsaat in eine Zwischenkultur schützt den Boden optimal vor Erosion, zum Beispiel Zuckerrüben in Gelbsenf in der Region Frienisberg (BE) am 16. Mai 2003. (Foto: Volker Prasuhn, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)

den erosionsgefährdung zeigt der Kanton Schaffhausen die deutlich höchste Gefährdung, gefolgt von Aargau, Basel-Landschaft, Zürich und Bern. In Schaffhausen ist der Kunstwiesenanteil am geringsten und es gibt viele Ackerflächen in Hanglagen. Im Aargau und in Zürich ist der Kunstwiesenanteil auch niedrig, während in Basel-Landschaft und Bern trotz hohem Kunstwiesenanteil die

vielen Ackerflächen in starken Hanglagen zur hohen aktuellen Bodenerosionsgefährdung beitragen. Eine geringe Bodenerosionsgefährdung wurde für die Kantone Genf, St. Gallen, Luzern, Solothurn und Neuenburg berechnet. Hier liegen viele Ackerflächen in ebenen Lagen und der Kunstwiesenanteil ist vergleichsweise hoch. Innerhalb der jeweiligen Kantone gibt es grosse regionale Unterschiede,

das heisst auch in Kantonen mit einer geringen Bodenerosionsgefährdung gibt es einzelne Flächen mit hohem Abtragsrisiko. Eine Auswertung auf Bezirksebene ergibt, dass 27 Bezirke beziehungsweise 15% der 183 Bezirke im Basisjahr 2003 einen mittleren Bodenabtrag von über vier Tonnen pro Hektare und Jahr aufweisen und damit als hoch erosionsgefährdet einzustufen sind.

Tab. 2. Modellierter durchschnittlicher potenzieller und aktueller Bodenabtrag des Ackerlandes pro Kanton (nur Kantone mit mehr als 5'000 ha Ackerfläche)

Kanton	Ackerfläche (modelliert) (ha)	Potenzieller Bodenabtrag (t/ha und Jahr)	Aktueller Bodenabtrag (t pro Jahr)	Aktueller Bodenabtrag (t/ha und Jahr)
Schaffhausen	8954	51	36186	4,04
Aargau	36223	51	105998	2,92
Basel-Landschaft	8834	68	25235	2,86
Zürich	37925	37	98993	2,61
Bern	86970	85	219595	2,52
Waadt	71106	35	164979	2,32
Freiburg	36233	44	75459	2,08
Jura	17152	50	35215	2,05
Thurgau	21803	27	43624	2,00
Neuenburg	8368	60	16371	1,96
Solothurn	15402	39	28373	1,84
Luzern	25019	52	40652	1,62
St. Gallen	7229	19	7800	1,08
Genf	6978	14	7152	1,02

## Aussagekraft der Ergebnisse

Für alle Ackerflächen wurde konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug und Winterbrache statt Zwischenkulturanbau unterstellt. Da in der Praxis teilweise konservierende Bodenbearbeitungsverfahren wie Mulchsaat, Streifenfrässaat und Direktsaat eingesetzt und Zwischenkulturen angebaut werden, sind die berechneten Werte zu hoch. Dies ist bei allen Auswertungen zu beachten. Zudem muss berücksichtigt werden, dass der verwendete Modellansatz der USLE die Erosion bei Bodenabträgen unter zehn Tonnen pro Hektare und Jahr eher überschätzt und dass vor allem die flächenhafte Erosion erfasst wird, während lineare Erosionsformen nur bedingt wiedergegeben werden können (Prasuhn 2005). Die vorliegende Karte soll – wie einleitend schon erwähnt – vor allem einen nationalen Überblick liefern und bodenerosionsgefährdete Regionen aufzeigen. Die absoluten Werte des Bodenabtrags sind nur mit grosser Vorsicht zu verwenden und aus oben angeführten Gründen eher zu hoch. Die relativen Werte spiegeln die Situation in der Schweiz dagegen zuverlässig wieder. Für den Vollzug der gesetzlichen Grundlagen sind im Einzelfall andere Instrumente wie zum Beispiel der Erosionsschlüssel (Mosimann und Rüttimann 1999) oder die Erosionsschadenskartierung (Prasuhn 2005) zu verwenden.

Auch wenn die Berechnungen im Hektarraster durchgeführt und dargestellt wurden, dürfen die Resultate keineswegs in diesem Massstab betrachtet werden. Zum einen lagen nicht alle Daten im Hektarraster vor, zum anderen ist auch das Hektarraster eine künstliche Grösse, die nicht der realen Grösse der Ackerflächen entspricht.

Einzelne Kantone wie Solothurn, Luzern und Genf haben mit der Erstellung kantonaler Hinweis-karten zur erosionsbedingten Bodengefährdung erste Schritte zum Vollzug der gesetzlichen Grundlagen gemacht. Die vorliegende nationale Übersichtskarte kann für weitere Kantone als Grundlage dienen, eigene Hinweis-karten zu erstellen oder besonders gefährdete Gebiete fokussiert zu betrachten.

Der Vergleich mit detaillierten Modellberechnungen im Fallstudiengebiet Frienisberg (Prasuhn 2005) sowie mit den Hinweis-karten zur erosionsbedingten Bodengefährdung der Kantone Genf und Luzern zeigt, dass die Berechnungen plausibel sind (Friedli 2006). Die beschränkten Verifikationsmöglichkeiten lassen allerdings offen, wie genau die Karte in Gebieten wie den Voralpen, dem Tessin oder der Ostschweiz mit vom zentralen Mittelland abweichenden Einflussfaktoren ist.

## Literatur

■ Daniel O., Desaulles A., Flisch R., Gaillard G., Herzog F., Hofer G., Jeanneret P., Nemecek T., Oberholzer H., Prasuhn V., Ramsauer M., Richner W., Schüpbach B., Spiess E., Vonarburg U.P., Walter T. & Weisskopf P., 2003. Agrarumweltindikatoren – Machbarkeitsstudie für die Umsetzung in der Schweiz. Schriftenreihe der FAL 47, Zürich-Reckenholz, 68 S.

■ Deumlich D., Funk R., Frielinghaus M., Schmidt W.-A. & Nitzsche O., 2006. Basics of effective erosion control in German agriculture. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **169** (3), 370-381.

■ DIN 19708, 2005. Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. Normenausschuss Wasserwesen im DIN, Beuth Verlag, Berlin, 25 S.

■ Finger A., 2004. Ackerland, ackerfähige Böden – GIS-Auswertung auf Basis von digitalen Polygon- und Punktdaten. Bundesamt für Statistik, 17 S., unveröffentlicht.

■ Friedli S., 2006. Digitale Bodenerosionsgefährdungskarte der Schweiz im Hektarraster – unter besonderer Berücksichtigung des Ackerlandes. Diplomarbeit Geogr. Inst. Univ. Bern und Agroscope FAL Reckenholz, 110 S.

■ Laffen J.M. & Moldenhauer W.C., 2003. Pioneering soil erosion prediction: the USLE story. World Association of Soil and Water Conservation (WASWC), Special Publication No. 1, 54 S.

■ Mollenhauer K., Feldwisch N., Scholten T. & Scholz K., 2006. Bodenerosion durch Wasser. Bewertungsmethodik und Instrumente der deutschen Bundesländer. BVB-Materialien 14, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 151 S.

■ Mosimann T. & Rüttimann M., 1999. Bodenerosion selber abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. Ackerbaugebiete des zentralen Mittellandes. – Aarau, Bern, Luzern und Solothurn, 36 S.

■ Mosimann T., Crole-Rees A., Maillard A., Neyroud J.-A., Thöni M., Musy A., & 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.

■ Prasuhn V., 2005. Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Erosion. Schriftenreihe der FAL 57, Zürich-Reckenholz, 108-119.

■ Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K. & Yoder D.C., 1997. Predicting soil erosion by water – A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook No. 703, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., 384 S.

■ Schwertmann U., Vogl W. & Kainz M., 1990. Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und

Bewertung von Gegenmassnahmen. Ulmer, Stuttgart, 64 S.

■ SR 814.12, 1998: Systematische Sammlung des Bundesrechts Nr. 814.12: Verordnung vom 1 Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo), Stand 28. März 2000. 12 S.

■ SR 910.13, 1998: Systematische Sammlung des Bundesrechts Nr. 910.13: Verordnung vom 7. Dezember 1998 über Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV), Stand 21. März 2006, 46 S.

■ Wischmeier W.H. & Smith D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. – A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., 58 S.

■ Vandekerckhove L., Arnoldussen A., Bazzoffi P., Böken H., Castillo V., Crescimanno G., Düwel O., Esteve J. F., Imeson A., Jar-

man R., Jones R., Kobza J., Lane M., Le Bissonnais Y., Loj G., Owens P. N., Øygarden L., Mollenhauer K., Prasuhn V., Redfern P., Sánchez Díaz J., Strauss P. & Üveges Berényi J., 2004. Monitoring soil erosion in Europe. In: Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection (Ed. Van-Camp *et al.*). EUR 21319 EN/2, Luxembourg, 297-309.

## RÉSUMÉ

### Carte du risque d'érosion du sol en Suisse

La carte du risque d'érosion du sol présente une vue d'ensemble du danger de perte de sol en Suisse, notamment dans les terres assolées. A l'aide du modèle d'érosion empirique d'équation générale de perte de sol («Universal Soil Loss Equation» USLE), le risque à long terme d'érosion du sol a été calculé à grande échelle sur une grille hectométrique après avoir adapté ce modèle aux conditions suisses. La carte en question fournit une base qui permettra aux cantons d'établir des cartes détaillées ou d'approfondir l'étude de zones particulièrement menacées. En admettant que toutes les terres assolées soient labourées, qu'aucune culture dérobée ne soit pratiquée et que le schéma des rotations reste le même qu'aujourd'hui, nous obtenons les résultats suivants: 61 % de la surface des terres assolées présentent à long terme une perte moyenne de sol inférieure à 2 t/ha et an, ce qui les classe parmi les surfaces peu menacées d'érosion. 22 % se situent dans la marge critique entre 2 et 4 t/ha et an; 17 % dépassent le seuil des 4 t/ha et an et sont donc jugées comme gravement menacées d'érosion. La répartition spatiale des pertes est très hétérogène dans les régions où se trouve la majeure partie des terres assolées, abstraction faite des zones où ces terres se concentrent au même endroit. Selon un calcul de scénario dans lequel le labour du sol est entièrement remplacé par le semis direct et les jachères hivernantes par des cultures dérobées, le risque d'érosion du sol se réduit de deux tiers en moyenne.

## SUMMARY

### Map of soil erosion risk in Switzerland

The Soil Erosion Risk Map gives a national overview on the erosion risk of Swiss soils, particularly for arable land. With the help of an adapted version of the empirical erosion model USLE (Universal Soil Loss Equation), the long-term soil erosion risk was calculated all over the country in a hectare grid. The Soil Erosion Risk Map is meant to serve as a basis for the Cantons to create detailed maps or investigate in depth areas that are particularly at risk. Under the assumption that within the current crop rotation all arable land is ploughed and no cover crops are cultivated, long-term average soil loss is less than 2 t/ha and year on 61 % of all arable land, and may be classified as low erosion risk. 22 % are in the critical range between 2 and 4 t/ha and year, and 17 % with more than 4 t/ha and year may be described as having a high risk of erosion. The spatial distribution of the erosion risk shows a highly heterogeneous pattern within the main regions of arable farming, and no specific high-risk region could be identified. In a scenario calculation in which ploughing is replaced by no-tillage and winter fallow by cover crops on all arable land, the risk of soil erosion is reduced on average by about two thirds.

**Key words:** soil erosion, map of soil erosion risk, USLE, no-tillage