

Erosionsrisikokarte im 2x2-Meter-Raster (ERK2)

Simon Gisler¹, Hans Peter Liniger¹ und Volker Prasuhn²

¹Centre for Development and Environment CDE, Universität Bern, 3012 Bern

²Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich

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



Bodenerosion führt zur Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit. (Foto: ART)

Einleitung

Bodenerosion führt zum Verlust von wertvollem Oberboden und kann Gewässer mit Sediment oder Nähr- und Schadstoffen verunreinigen. Der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit ist im ureigenen Interesse jedes Landwirtschaftsbetriebes. Trotzdem werden die Folgen von Bodenerosion häufig nicht als vordringliches Problem eingestuft. Die Bäuerinnen und Bauern werden zwar vom Gesetzgeber dazu aufgefordert, Erosion auf ihren Böden zu verhindern. In der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) sind Richtwerte für Bodenerosion auf Ackerflächen festgeschrieben, und in der Direktzahlungsverordnung (DZV) wird bei wiederholtem Bodenabtrag auf Ackerflächen die Umsetzung von Mass-

nahmen verlangt. Die Umsetzung von Erosionsschutzmassnahmen ist in der Praxis allerdings häufig ungenügend. In der EU ist der Erosionsschutz neu im Rahmen von «Cross Compliance» geregelt. Seit dem 01.07.2010 müssen zum Beispiel in Deutschland gemäss Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung in allen Bundesländern parzellenscharfe potenzielle Erosionsgefährdungskarten vorliegen und im Vollzug eingesetzt werden (sogenanntes Erosionskataster). Eine vergleichbare Regelung existiert in der Schweiz bisher nicht. Mit der Erosionsgefährdungskarte der Schweiz, die kürzlich erstellt worden ist (Friedli 2006, Prasuhn *et al.* 2007), liegt zwar eine digitale Gefährdungskarte vor, diese ist aber von der räumlichen Auflösung her (Hektarraster) nur für nationale Übersichtszwecke, nicht aber für par-

zellenscharfe Massnahmenpläne geeignet. Daher wurde im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) nun eine hoch aufgelöste Erosionsrisikokarte im 2x2-Meter-Raster (ERK2) erstellt (Gisler *et al.* 2010). Folgende Anforderungen wurden an die Karte beziehungsweise das Modell gestellt:

- wissenschaftlich abgesichert und anerkannt,
- schweizweit möglichst einheitlich,
- vergleichbar mit entsprechenden Karten aus EU-Ländern,
- digital bzw. GIS-basiert,
- frei verfügbares und weit verbreitetes Programm,
- möglichst einfach, d. h. mit vorhandenen Daten realisierbar,
- anwenderfreundlich, d. h. für Vollzug und Praxis geeignet und akzeptiert,
- hoch aufgelöst, d. h. auf Parzellenebene einsetzbar.

Einerseits soll die ERK2 helfen, potenziell erosionsgefährdete Gebiete zu lokalisieren, andererseits soll sie durch ihre detaillierten Informationen bei einem bestätigten Verdacht mögliche Ansätze für geeignete Massnahmen aufzeigen. Die ERK2 ist ein Hilfsmittel für den Landwirt und Behörden. Sie ersetzt jedoch keinesfalls detaillierte Feldabklärungen vor Ort.

Methoden

Das Erosionsmodell AV-Erosion

Für die Berechnung des potenziellen Bodenabtrags wurde die Software AVErosion 1.0, eine frei verfügbare Extension für das ESRI GIS-Programm ArcView 3.x, verwendet (Schäuble 2005). Das Modell wurde von Schäuble (1999) entwickelt und wird derzeit von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) im Rahmen von Cross Compliance eingesetzt (Bischoff und Gullich 2009). In der Schweiz wurde es in zwei Diplomarbeiten getestet (Chisholm 2008, Gisler 2009). AVErosion berechnet auf Basis der «Modified Universal Soil Loss Equation» (MUSLE) respektive der «Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung» (ABAG) den langjährigen mittleren Bodenabtrag (A) aus der Multiplikation der Faktoren:

R = Regen- und Oberflächenabflussfaktor, Niederschlags-erosivität

K = Bodenerodierbarkeitsfaktor

L = Grösse des Einzugsgebietes

S = Hangneigungsfaktor

C = Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor

P = Erosionsschutzfaktor

Zusammenfassung

Die hoch aufgelöste Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz zeigt das potenzielle Erosionsrisiko aufgrund der Standortfaktoren Relief, Boden und Niederschlag – unabhängig von der jeweiligen Nutzung (Acker-, Dauergrünland oder Reben) und Bewirtschaftung. Stark erosionsgefährdete Bereiche innerhalb einer Parzelle oder eines Hanges wie beispielsweise Talwege können in der Karte gut identifiziert werden. Erosionsschadenskartierungen im Feld, Vergleiche mit anderen Erosionsrisikokarten und Diskussionen mit Landwirtinnen und Landwirten haben die Plausibilität der Karte bestätigt. Insgesamt wurden 44 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Talgebiet auf der Basis eines 2x2-Meter-Rasters als potenziell erosionsgefährdet klassiert. Allerdings werden 38 % aller Flächen im Talgebiet als Dauergrünland genutzt und haben insofern kein reales Erosionsrisiko. Eine digitale Karte der Ackerflächen liegt derzeit nicht vor, so dass eine Aufteilung in Acker- und Dauergrünland nicht vorgenommen werden konnte. Mit der ERK2 liegt nun eine für die ganze Schweiz einheitliche Grundlage zur Beurteilung des potenziellen Erosionsrisikos auf der Skala Parzelle vor. Sie erlaubt, dass Landwirte und die kantonale Beratung Flächen mit potenziellem Erosionsrisiko frühzeitig wahrnehmen, gemeinsam vor Ort beurteilen und allfällige Massnahmen planen können. Eine Überprüfung des modellierten Erosionsrisikos im Feld bleibt aber unumgänglich.

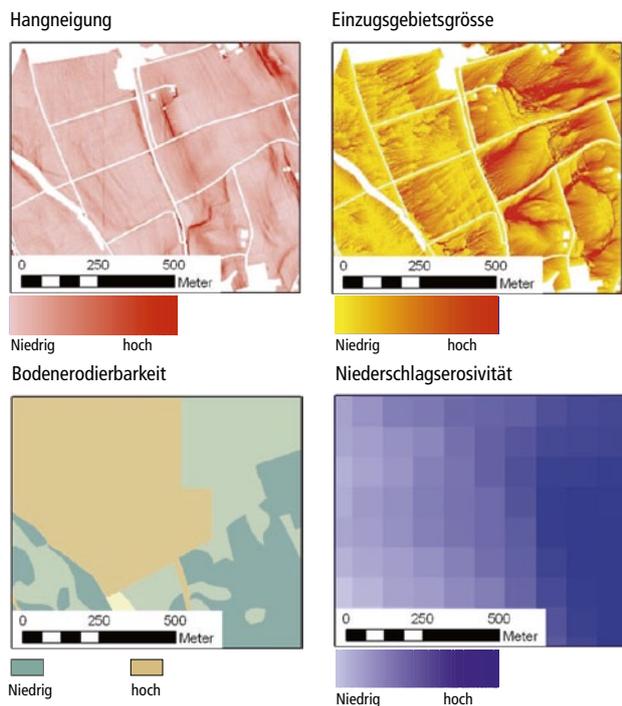


Abb. 1 | Beispielhafte Darstellung der Faktoren S (Hangneigung), L (Einzugsgebietsgrösse und Hanglänge), K (Bodenerodierbarkeit) und R (Niederschlagserosivität). Die Multiplikation der Faktoren ergibt das potentielle Erosionsrisiko (siehe Abb. 2 und 3).

Bei AVErosion erfolgt die Berechnung der Relief-faktoren (L und S) in Einzugsgebietsdimension, das heisst unter Einbezug von Nachbarschaftsbeziehungen aller 2x2-Meter-Rasterzellen und unter Berücksichtigung von Hangrichtungswechseln. Sie beruht auf dem «Unit Contributing Area Concept» und verwendet «Multiple-flow-Algorithmen», im Gegensatz zur klassischen USLE, die auf dem «Regular Slope Concept» beruht und «Single-flow-Algorithmen» verwendet. Dadurch werden die Fliesswege des Wassers in Geländemulden (Talwege) besser abgebildet. AVErosion benötigt fünf Eingabedatensätze:

- Schlagraster (Berechnungseinheit)
- Digitales Höhenmodell (DHM)
- Raster mit den R-Faktordaten
- Raster mit den K-Faktordaten
- Raster mit den C-Faktordaten.

Schlagraster und Feldblöcke

Das Schlagraster gibt die zu berechnende Fläche vor. Innerhalb seiner Grenzen werden die einzelnen Faktoren generiert und zur resultierenden Erosionsabschätzung verrechnet. Schlagraster können Anbauparzellen, Feldblöcke, Besitzparzellen, Feldstücke oder andere abgrenzbare Einheiten sein. Für die ERK2 wurden Feldblöcke verwendet. Ein Feldblock ist eine zusammenhängende landwirtschaftlich genutzte Fläche, die von

relativ stabilen, in der Natur erkennbaren Aussengrenzen (zum Beispiel Wald, Strassen, Siedlungsflächen, Gewässer) umgeben ist. Ein Feldblock kann durch einen oder mehrere Landwirte bewirtschaftet werden. Er kann also mehrere Anbauparzellen oder auch Grundbuchparzellen beinhalten sowie unterschiedliche Nutzungsarten (Ackerland/Dauergrünland/Reben oder verschiedene Ackerkulturen) kombinieren. Ein Feldblock stellt eine Art geschlossenes hydrologisches Einzugsgebiet dar, in dem alle Rasterzellen innerhalb des Feldblockes hydrologisch verbunden sein können (sofern das Gefälle dies ermöglicht) und sich somit bezüglich Erosion beeinflussen können. Andere Feldblöcke oder Flächen ausserhalb eines Feldblockes können die Wasserflüsse und Erosion innerhalb des Feldblockes nicht beeinflussen. Ein Fremdwasserzufluss ist im Modell also nicht möglich. Als Mindestgrösse für einen Feldblock wurden 25 Aren festgelegt (Ausnahme: Reben). Flächen, welche dieses Mindestmass unterschritten, wurden eliminiert und somit von der Berechnung ausgeschlossen.

Die Feldblöcke wurden für die ganze Schweiz einheitlich aus der Vector25-Karte erstellt. Der Datensatz Vector25 ist das digitale Landschaftsmodell der Schweiz und wird aus der Pixelkarte der 1:25000er Landkarte und hinzugezogenen fotogrammetrisch ausgewerteten Daten erstellt. Es gibt neun thematische Ebenen, wobei

Tab. 1 | Detaillierte digitale Bodenkarten, welche für die Berechnung des Erosionsrisikos genutzt werden konnten.

Massstab	Kanton	Fläche (ha)	Fläche (%) von LN ERK2
1:5000	AG	1428	
1:5000	BL/BS	17 890	
1:5000	GL	990	
1:5000	LU	4011	
1:5000	SO	9020	
1:5000	ZG	8782	
1:5000	ZH	64 080	
Total 1:5000		106 203	12,0
1:10 000	LU	3925	
1:10 000	SG	35 469	
Total 1:10 000		39 395	4,4
1:25 000	LU	17 307	
Total 1:25 000		17 307	2,0
1:50 000	TG	44 396	
1:50 000	GE	11 261	
Total 1:50 000		55 658	6,3
Total Bodenkarten		218 564	24,7
Gesamte LN ERK2		886 661	

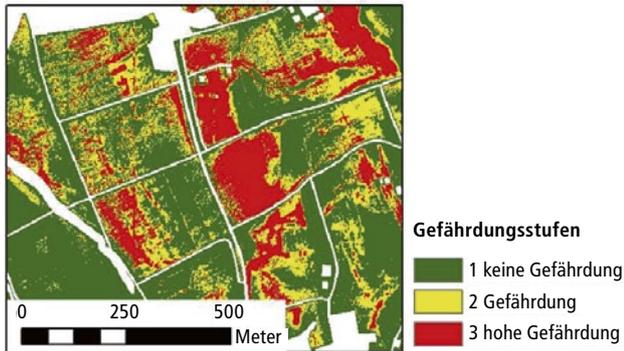


Abb. 2 | Ausschnitt der ERK2 mit einer Klassierung in drei Gefährdungsstufen (gleicher Ausschnitt wie Abb. 1 und 3).

die sogenannten Primärflächen die landwirtschaftlich genutzten Flächen beinhalten. Eine Trennung von Ackerland und Dauergrünland ist mit den derzeit verfügbaren digitalen Datensätzen nicht möglich. Insgesamt wurden 180 920 Feldblöcke ausgeschieden. Der Mittelwert der Feldblockgrösse beträgt 5,0 ha, der Median 2,4 ha.

Digitales Höhenmodell DTM-AV

Das verwendete DTM-AV ist das Digitale Terrainmodell der amtlichen Vermessung (swisstopo). Es wurde zwischen 2000 und 2007 mittels »Airborne Laser Scanning« erhoben. Aus den Rohdaten (Punktdateien) wurde ein Gittermodell mit 2x2-m-Raster interpoliert. Die Genauigkeit liegt im offenen Gelände bei ± 50 cm. Das DTM-AV deckt die ganze Schweiz bis zu einer Höhe von 2000 m. ü. M. ab. Das Höhenmodell bildet die Grundlage für die Berechnung der Relieffaktoren L und S des Erosionsmodells und gibt die Rasterzellengrösse vor (Abb. 1). Durch die hohe Auflösung ermöglicht es eine sehr gute Abbildung erosionsrelevanter, kleinräumiger Strukturen wie Geländemulden oder -stufen.

Raster mit R-, K- und C-Faktoren

Das R-Faktorraster gibt die Niederschlagserosivität, also die Verteilung erosionswirksamer Niederschlagsenergie der Schweiz wieder und wurde von Friedli (2006) ohne Änderungen übernommen (Abb. 1).

Das K-Faktorraster beinhaltet Informationen zur Bodenerodierbarkeit. Es wurde aus der K-Faktorkarte von Friedli (2006) und ergänzend aus detaillierten kantonalen Bodenkarten erstellt (Abb. 1). Dazu wurden die Kantone nach digitalen Bodenkarten angefragt. Aus den Angaben zu Körnung, Humus- und Skelettgehalt wurde die Erodierbarkeit für die verschiedenen Bodenkarten berechnet. Nur rund ein Viertel der von uns berechneten Fläche konnte durch detaillierte Bodenda-

ten abgedeckt werden (Tab. 1). Für die restliche Fläche wurden die aus der Bodeneignungskarte 1:200 000 abgeleiteten K-Faktoren verwendet (Prasuhn et al. 2010).

Berechnungsgebiet der ERK2

Das berechnete Gebiet umfasst alle Flächen in der Tal- und Hügelzone (zusammengefasst als Talgebiet bezeichnet) gemäss den landwirtschaftlichen Zonengrenzen. In einem erweiterten Datensatz sind die Bergzonen I und II zusätzlich enthalten. Die Bergzonen III und IV sowie das Sömmerungsgebiet wurden grundsätzlich von den Berechnungen ausgeklammert. Aus dem Datensatz Vector25 wurden im verbleibenden Gebiet anschliessend alle nicht landwirtschaftlichen Nutzungen wie Wald, Siedlungsflächen, Gewässer, Strassen, Hecken etc. ausgeschnitten, zusätzlich wurden auch Obstanlagen und gartenbaulich genutzte Flächen eliminiert. Um Strassen, Gewässer, Hecken und Wald wurden Pufferstreifen gelegt und ebenfalls eliminiert. Das erweiterte Berechnungsgebiet umfasst mit einer Fläche von 886 661 ha rund 84 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz.

Klassengrenzen der ERK2

In Deutschland bestehen durch die Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung (DirektZahlVerpflV) im Rahmen von Cross-Compliance Bestimmungen zum Schutz der Böden vor Wassererosion. Bis zum 01.07.2010 mussten die Bundesländer alle Ackerflächen nach dem Grad der Erosionsgefährdung einteilen und dies den Bewirtschaftern mitteilen. In der Anlage 1 dieser Verordnung sind die Gefährdungsklassen beschrieben. Die Bestimmung der Faktoren S, L, R und K soll dabei in Anlehnung an DIN19708 (2005) erfolgen. Für die ERK2 wurde die deutsche Klassierung übernommen (Tab. 2).

Resultate und Diskussion

Die Resultate der Erosionsrisikoberechnungen werden in zwei Varianten angeboten. Die erste Karte liefert die Einteilung in die drei Gefährdungsstufen gemäss Tabelle 2. Diese Karte soll einen raschen Überblick über

Tab. 2 | Wassererosionsgefährdungsklassen der ERK2 in Anlehnung an die gesetzlichen Vorgaben der deutschen Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung.

Klasse	Beschreibung	Wert (S x L x K x R)	Darstellung
1	Keine Erosionsgefährdung	0–30	grün
2	Erosionsgefährdung	30–55	gelb
3	Hohe Erosionsgefährdung	>55	rot

die Erosionsdisposition des gewählten Ausschnittes bieten (Abb. 2). Der hinterlegte Datensatz enthält keine absoluten Zahlenwerte für den potenziellen Bodenabtrag, sondern nur die drei Klassenwerte für das Erosionsrisiko. Dies ermöglicht einfache statistische Auswertungen für beliebige Ausschnitte. So kann zum Beispiel für eine Parzelle, einen Feldblock oder eine Gemeinde der relative Flächenanteil der drei Klassen im GIS leicht berechnet werden.

Die zweite Karte beinhaltet den Originaldatensatz mit absoluten Werten für den potenziellen Bodenabtrag pro Rasterzelle. Die vorgegebene Klassierung in neun Klassen orientiert sich sowohl bei den Werten als auch bei der Farbgebung an den Vorgaben von Tabelle 2. Die stärkere Unterteilung ergibt eine detaillierte Darstellung und ist deshalb für die Ursachenanalyse einer einzelnen gefährdeten Parzelle gut geeignet (siehe Abb. 3 und 5).

Überblick über die ERK2

Einen schweizweiten Überblick über das modellierte potenzielle Erosionsrisiko der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Talgebiets zeigt die Karte in Abb. 4. Das Erosionsrisiko wurde in neun Klassen dargestellt, eingeteilt

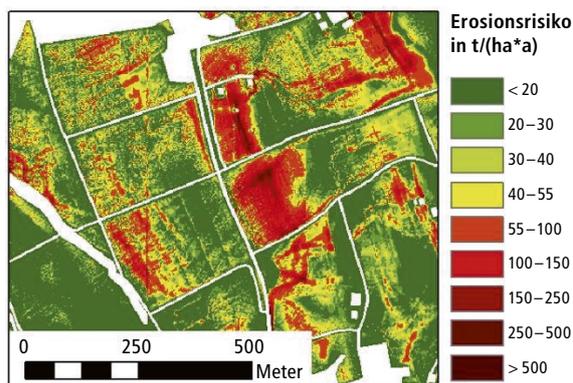


Abb. 3 | Ausschnitt der ERK2 mit einer Klassierung in neun Klassen für den potenziellen Bodenabtrag (gleicher Ausschnitt wie Abb. 1 und 2).

nach dem berechneten langjährigen mittleren potenziellen Bodenabtrag in $t/(ha \cdot a)$. Die Einteilung und Farbgebung wurde dabei an die oben definierten Klassen (Tab. 2) angepasst. Die aktuelle Flächenangabe zur Ackerfläche der Schweiz (inklusive Kunstwiesen) beläuft sich auf 405 214 ha sowie 13 084 ha Reben. Davon befinden sich 90 % (377 567 ha) im Talgebiet (SBV 2009). Daher wurden in Abbildung 4 die Bergzonen I und II, welche zwar auch berechnet wurden, nicht abgebildet. Die dar-

Erosionskarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz (ERK2) ohne Bergzonen und Sömmerungsgebiete

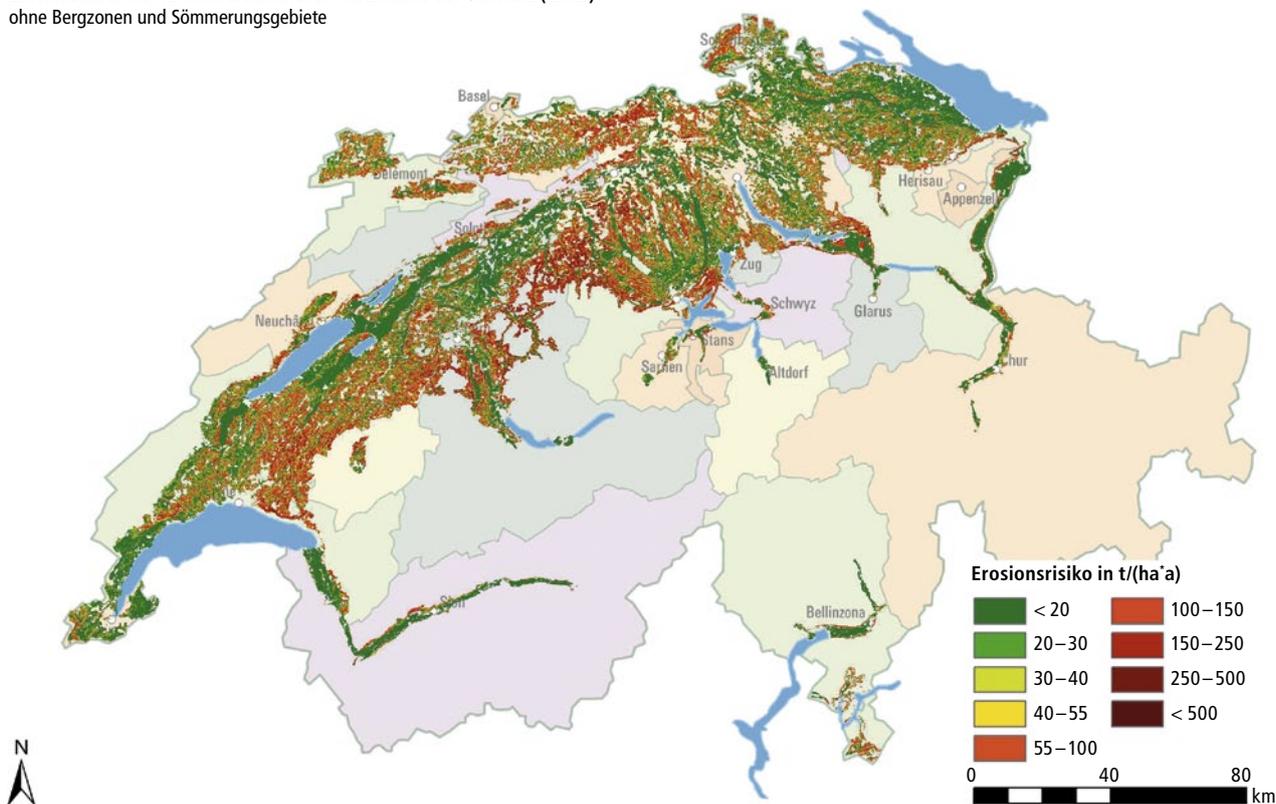


Abb. 4 | Die Erosionsrisikokarte (ERK2) für die landwirtschaftlich genutzten Flächen im Talgebiet der Schweiz. Die Karte zeigt das potenzielle Erosionsrisiko ohne Berücksichtigung von Nutzung und Bewirtschaftung.

gestellte Fläche im Talgebiet umfasst 606233 ha. 38 % der abgebildeten Flächen sind Dauergrünland und 62 % Ackerland oder Reben. Dies ist bei der Interpretation der Resultate unbedingt zu berücksichtigen. 56 % der Fläche wurden als nicht erosionsgefährdet klassiert, 12 % als potentiell erosionsgefährdet und 32 % als stark potenziell erosionsgefährdet. Viele der als stark potenziell erosionsgefährdet klassierten Flächen befinden sich am Übergang der Tal- zur Bergzone. Hier dürften viele Flächen als Dauergrünland genutzt werden, was deren aktuelles Erosionsrisiko praktisch unerheblich macht.

Validierung der ERK2

Die Validierung des Modells AVErosion erfolgte mit den zehnjährigen Messdaten der Erosionsschadenskartierungen vom Frienisberg für 203 Parzellen (Prasuhn 2011). Es konnte eine befriedigende Übereinstimmung vor allem für die hoch erosionsgefährdeten Parzellen gefunden werden. Weiterhin wurde das Modell in diversen Gebieten auf Plausibilität geprüft. In den Gebieten Estavayer le Lac und Oberaargau, in denen von Ledermann *et al.* (2010) zweijährige Erosionsschadenskartierungen durch-

geführt wurden, stimmten die kartierten Erosionsschäden – vor allem Talwege – ebenfalls gut mit den Modellvorhersagen überein. Der Vergleich der ERK2 mit den bestehenden Hinweiskarten 1:25 000 für die erosionsbedingte Bodengefährdung in den Kantonen Solothurn, Luzern und Genf ergab gute bis sehr gute visuelle Übereinstimmungen. Von Frey *et al.* (2010) wurde AVErosion auf vier sehr unterschiedlichen Betrieben eingesetzt. Alle Betriebsleiter haben die Resultate akzeptiert beziehungsweise für richtig befunden. Zusätzlich wurden die mit einem anderen Ansatz (Noll *et al.* 2010) gemachten Erosionsrisikoabschätzungen für die Gebiete Avenches (VD) und Boiron de Morges (VD) mit den Vorhersagen der ERK2 verglichen. In Avenches lagen dabei ebenfalls Feldbeobachtungen zur Bodenerosion vor, um die ERK2 auf Plausibilität zu prüfen. Auch hier wurden weitgehende Übereinstimmungen festgestellt.

Interpretationsmöglichkeiten der ERK2

Da das Erosionsrisiko in hohem Masse von der Geländetopologie bestimmt wird, kann man aus der Erosionsrisikokarte auch annähernd das vorliegende Relief abschätzen >

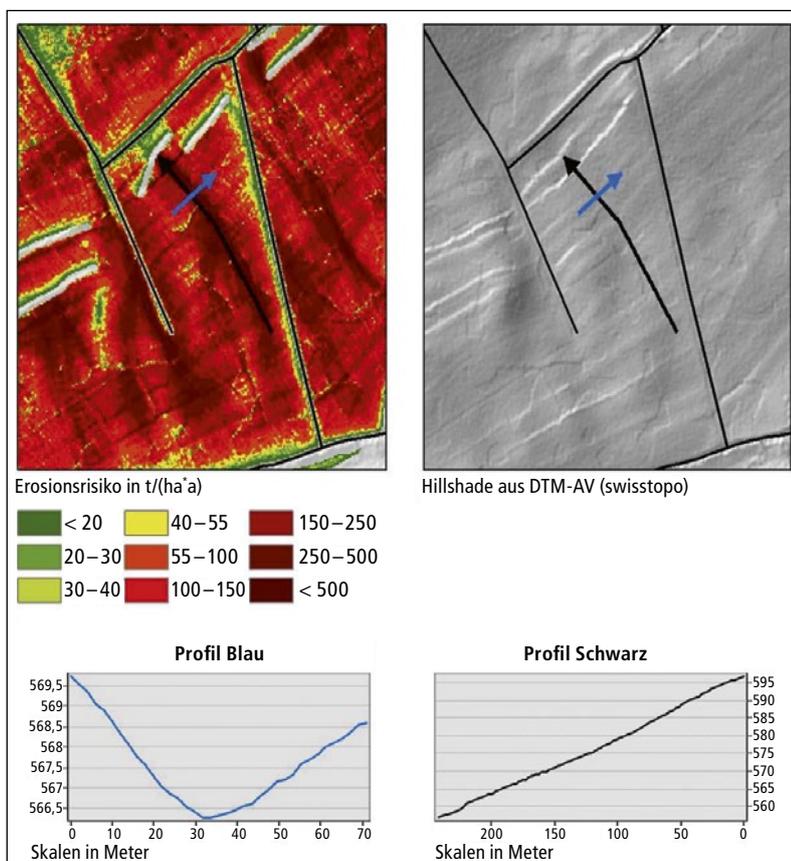


Abb. 5 | Ausschnitt aus der ERK2 für einen Feldblock mit einer Geländemulde in Gefällsrichtung (schwarze Linien = Feldblockgrenzen). Längs- und Querprofil charakterisieren die Mulde. Die Muldenstruktur ist durch das erhöhte Erosionsrisiko in der ERK2 gut erkennbar.



Abb. 6 | Vergleich von fotografisch festgehaltenen Erosionsschäden mit ERK2-modelliertem Erosionsrisiko. Die Mulde mit Talwegerosion wird vom Modell gut abgebildet. (Foto: Thomas Ledermann, CDE Uni Bern)

beziehungsweise den Grund dafür erkennen, ob oder warum eine Erosionsgefährdung vorliegt. Dies hilft bei der Interpretation der Darstellung des potenziellen Erosionsrisikos in der ERK2. Wo sind Geländemulden? Wie ist die grobe Form des Geländes? Wo befinden sich konkave oder konvexe Hänge? In welche Richtung fließt das Wasser? Wo liegen beispielsweise Hecken, Böschungen? Solche Strukturen lassen sich aus der ERK2 oft sehr detailliert abschätzen und erlauben eine erste Ursachenanalyse.

Beispiel Geländemulde

Geländemulden sind Vertiefungen im Gelände, welche den Wasserfluss kanalisieren und ableiten (sogenannte Talwege). Die zusammenfließenden Wassermassen erhöhen die Abflussenergie und den L-Faktor; deshalb drücken sich solche Geländeformen in einem stark erhöhten Erosionsrisiko aus (siehe Abb. 5, links). Die Muldenstruktur (blaues Profil) mit dem entsprechenden Längsgefälle (schwarzes Profil) führt zu diesem Effekt. Bei solchen in der ERK2 gut erkennbaren und typischen Strukturen wird eine detaillierte Überprüfung der Situation im Feld dringend angeraten, da solche Strukturen häufig zu hohen Bodenabträgen (Talwegerosion) führen. Weitere Beispiele für gut erkennbare Geländestrukturen finden sich in Gisler *et al.* (2010).

Vergleich mit realen Erosionsereignissen

Der Vergleich zwischen Foto und Karte soll zeigen, wie man sich einen Kartenausschnitt der ERK2 in der Realität vorstellen muss. Das Beispiel in Abbildung 6 zeigt einen stark erosionsgefährdeten Hangabschnitt mit typischen Erosionsformen und den entsprechenden Ausschnitt aus der ERK2. Weitere Beispiele finden sich in Gisler *et al.* (2010).

Hinweise für den Anwender

Auch in einem weltweit vielfach verwendeten und validierten Modell wie der ABAG wird die Realität immer abstrahiert und vereinfacht. Das heisst, das prognostizierte potentielle Erosionsrisiko in der ERK2 kann in einigen Fällen nicht richtig beurteilt worden sein. So kann es vorkommen, dass es in Gebieten, die auf der Karte als nicht erosionsgefährdet eingestuft sind, in der Realität trotzdem zu Erosionsereignissen kommt, oder dass Gebiete noch stärker von Erosion betroffen sind, als dies in der Karte dargestellt wird. Mögliche Ursachen dafür sind zum Beispiel Fremdwasserzufluss von Strassen, defekte Drainagen, Hangwasseraustritte. Andererseits werden viele der als potentiell erosionsgefährdet klassierten Flächen in der ERK2 vom Landwirt bereits angepasst bewirtschaftet (Dauergrünland oder konservierende Bodenbearbeitung usw.), so dass dort nicht mit realen Erosionsschäden zu rechnen ist. Eine Überprüfung der jeweiligen Situation im Feld wird in jedem Fall angeraten.

Ausblick

Weiterführende Arbeiten zur Verbesserung der ERK2 wären die Ausscheidung von Dauergrünland und effektiv ackerbaulich genutzten Parzellen. Eine Differenzierung der jeweiligen Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsverfahren aufgrund genauerer Kenntnisse der Bewirtschaftung würde es erlauben, den C-Faktor in die Bodenerosionsgleichung einzubeziehen und damit die effektiv gefährdeten Parzellen auf Grund der heutigen Nutzung zu ermitteln. Weiterhin könnte der Anschluss an das Gewässernetz modelliert werden, um mögliche Gewässerbelastungen durch Bodenerosion abschätzen zu können. ■

Riassunto**Carta ad alta risoluzione del rischio di erosione con reticolo a celle di 2x2 m (CRE2)**

La carta ad alta risoluzione del rischio di erosione (CRE2) della superficie agricola utile della Svizzera mostra il potenziale rischio di erosione, basandosi su fattori locali quali rilievo, suolo e precipitazioni, indipendentemente dalla forma di utilizzazione (superficie campicola, prato permanente o vigneto) e di gestione. Sulla carta possono essere identificate distintamente le zone fortemente a rischio di erosione all'interno di una parcella o su un pendio, come per esempio i thalweg. La pertinenza della CRE2 è stata confermata dalla cartografia sul campo dei danni provocati dall'erosione, dai confronti con altre carte sul rischio di erosione e dai colloqui intrattenuti con gli agricoltori. Sulla base di un reticolo a quadrati di 2x2 metri è stato classificato come potenzialmente a rischio d'erosione, il 44 % della superficie agricola utile in zona di pianura. Tuttavia, il 38 % di tutte le superfici in pianura è sfruttato come superficie permanentemente inerbita e non è, pertanto, a rischio reale di erosione. La CRE2 rappresenta una base unificata, valida per tutta la Svizzera per individuare potenziali rischi di erosione a livello di parcellare. Essa consente ad agricoltori e consulenti cantonali di intervenire tempestivamente in caso di rischio di erosione, di condurre una valutazione comune sul campo e di prendere eventuali misure. Una verifica sul campo del rischio di erosione rilevato sulla base di modelli resta, tuttavia, indispensabile.

Literatur

- Bischoff R. & Gullich P., 2009. Erosionsschutz in der Thüringer Landwirtschaft. 3. Sächsisch-Thüringische Bodenschutztagung Erfurt, 106–112.
- Chisholm M., 2008. Analyse der Bodenerosion mit der AVErosion-Extension für ArcView. Diplomarbeit, CDE Universität Bern.
- DIN 19708, 2005. Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG.
- Frey M., Stamm C., Konz N. & Prasuhn V., 2010. Machbarkeitsstudie Kartierung beitragender Flächen. Studie im Auftrag des BAFU. EAWAG und ART Zürich-Reckenholz.
- Friedli S., 2006. Digitale Bodenerosionsgefährdungskarte der Schweiz im Hektarraster – Unter besonderer Berücksichtigung des Ackerlandes. Diplomarbeit CDE Universität Bern.
- Gisler S., 2009. Erosionsabschätzung und Massnahmenplanung mit der ArcView Extension AV Erosion im Gebiet Frienisberg – Auswirkungen von parzellenscharfen Faktordaten. Masterarbeit, CDE Universität Bern.
- Gisler S., Liniger H.P. & Prasuhn V., 2010. Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz im 2x2-Meter-Raster (ERK2). CDE Universität Bern und ART Zürich-Reckenholz, 113 S.
- Ledermann T., Herweg K., Liniger H.P., Schneider F., Hurni H. & Prasuhn V., 2010. Applying erosion damage mapping to assess and quantify

Summary**Erosion risk map in a 2x2-meter grid (ERM2)**

The high-resolution erosion risk map (ERM2) of Switzerland's utilised agricultural area shows potential erosion risk based on the locational factors of relief, soil and precipitation – irrespective of particular land use (arable land, permanent grassland or vines) or crop management. Areas at high risk of erosion within a plot or on a hillside, such as talwegs for example, are easy to identify on the map. Erosion damage mapping in the field, comparisons with other erosion risk maps and discussions with farmers have confirmed the validity of the map. Altogether, 44 % of the utilised agricultural area in the valley region was classified as a potential erosion risk on the basis of a 2x2-meter grid. 38 % of all the land in the valley region is used as permanent grassland, however, and to this extent poses no real erosion risk. A digital map of arable land is not currently available, so the land could not be broken down into arable and permanent grassland. ERM2 now provides a standard basis for assessing the potential erosion risk on plot scale for the whole of Switzerland. It enables farmers and cantonal advisors to identify in advance the land at risk of potential erosion, assess it jointly in situ and plan the requisite action. It remains essential, however, to carry out a field inspection of the erosion risk modelled.

Key words: soil erosion, erosion risk map, modeling.

- off-site effects of soil erosion in Switzerland. *Land Degradation & Development* 21, 353–366.
- Noll D., Dakhel N. & Burgos S., 2010. Beurteilung der Transferrisiken von Pestiziden durch Oberflächenabfluss. *Agrarforschung Schweiz* 1 (3), 110–117.
- Prasuhn V. 2011. Soil erosion in the Swiss midlands – results of a 10-year field survey. *Geomorphology* 126, 32–41.
- Prasuhn V., Liniger H.P., Hurni H. & Friedli S., 2007. Bodenerosions-Gefährdungskarte der Schweiz. *Agrarforschung* 14 (3), 120–127.
- Prasuhn V., Liniger H.P., Hurni H. & Friedli S., 2010. Abschätzung des Bodenfaktors für die Übersichtskarte der Bodenerosionsgefährdung der Schweiz. *Bulletin der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS)* 30, 31–36.
- SBV (Schweizerischer Bauernverband), 2009. Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung, Brugg.
- Schäuble H., 2005. AVErosion 1.0 für ArcView – Berechnung von Bodenerosion und -akkumulation nach den Modellen USLE und MUSLE87. Zugang: http://www.terracs.com/averosion_deu.pdf [1.11.10].
- Schäuble H., 1999. Erosionsprognosen mit GIS und EDV – Ein Vergleich verschiedener Bewertungskonzepte am Beispiel einer Gäulandschaft. Diplomarbeit, Geographisches Institut Eberhard-Karls-Universität, Tübingen.