

**Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur**

**Erosionsrisikokarte**

**der landwirtschaftlichen Nutzfläche**

**der Schweiz im 2x2-Meter-Raster**

**(ERK2)**

**von**

**Simon Gisler (CDE Uni Bern)**  
**Hanspeter Liniger (CDE Uni Bern)**  
**Volker Prasuhn (Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)**

**im Auftrag des**  
**Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW)**

**November 2010**

# IMPRESSUM

## **Auftrag:**

BLW (anton.candinas@blw.admin.ch)

## **Projektbetreuung:**

Arbeitsgruppe Boden (A. Candinas, Vorsitz, (BLW), M. Fischler, (Projektsekretariat, (mf k&p), L. Nyffenegger (BLW), M. Affentranger (BLW), J.P. Clement (BAFU), N. Emch (Kt. SO), C. Kündig (Kt. VD), A. Lehmann (Kt. FR), P. Julien (Agridea), P. Weisskopf (ART), M. Santschi (BLW), A. Chervet (Kt. BE), A. Stübi (BLW))

## **Technische Unterstützung:**

Kurt Gerber, Christoph Hösli, Christian Hergarten (GIS-Unit CDE)  
Erich Szerencsits (ART)

## **Datengrundlagen:**

- DTM-AV, Vector25: Swisstopo (Roberto Artuso, Support DTM-AV)

- Bodendaten:

- AG – AGIS Geoportal Aargau
- BL – U. Wyss, GIS-Fachstelle BL,  
P. Simon, Direktzahlungen BL
- BS – S. Adam, Amt für Umwelt und Energie BS
- ZH – A. Lehmann, Fachstelle Bodenschutz Zürich
- SO – G. von Rohr, Amt für Umwelt SO
- LU – B. Suter, UWE Luzern
- GE – A. Besson, HESS-SO Genf
- GL – M. Baltensweiler, Abt. Landwirtschaft GL,  
S. Zantop, Acroplan
- SG – D. Schluep, Amt für Umwelt und Energie SG,  
M. Trummer, Amt f. Raumentwicklung u. Geoinformation SG
- TG – A. Kayser, Amt für Umwelt Thurgau

## **Prozessbegleitung:**

Hans Hurni, Karl Herweg (CDE)

# INHALTSVERZEICHNIS

-	<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
o	1.1 Ausgangslage .....	1
o	1.2 Auftrag und Ziel.....	2
o	1.3 Aussagekraft, Verwendungsmöglichkeiten und Limitierungen der Karte ERK2.....	3
▪	1.3.1 Kurzanleitung der Vorgehensweise für Anwender.....	6
-	<b>2. Das Erosionsmodell AV-Erosion</b> .....	<b>7</b>
o	2.1 Modellgrundlagen AVErosion 1.0.....	7
o	2.2 Überblick Grundlagendaten.....	10
o	2.3 Resultate Bruttoerosion.....	11
-	<b>3. Beschreibung der einzelnen Grundlagendaten</b> .....	<b>12</b>
o	3.1 Schlagraster und Feldblöcke.....	12
▪	3.1.1 Vector25.....	13
▪	3.1.2 Berechnungsgebiet.....	14
▪	3.1.3 Feldblock.....	15
▪	3.1.4 Herstellung Feldblockplan.....	17
o	<b>3.2 Digitales Höhenmodell DTM-AV</b> .....	<b>23</b>
▪	3.2.1 Probleme mit dem digitalen Höhenmodell .....	23
▪	3.2.2 Korrektur Höhenmodell.....	29
o	<b>3.3 Bodendaten</b> .....	<b>30</b>
▪	3.3.1 Bodeneignungskarte 1:200'000 – FRIEDLI (2006).....	30
▪	3.3.2 Detaillierte Bodenkarten der Kantone .....	31
▪	3.3.3 K-Faktorrasterkarte .....	34
-	<b>4. Resultate</b> .....	<b>37</b>
o	4.1 Datenabgabe – Karten.....	44
o	4.2 Beschreibung der einzelnen Rasterdatensätze .....	45
▪	4.2.1 Resultate.....	45
▪	4.2.2 Grundlagendaten.....	47
▪	4.2.3 Zusätzliche Daten.....	49
-	<b>5. Validierung und Plausibilitätstests</b> .....	<b>52</b>
o	5.1 Validierung .....	52
o	5.2 Plausibilitätstests.....	53
▪	5.2.1 Vergleich der ERK2 mit der Bodengefährdungskarte Schweiz (FRIEDLI 2006).....	55
▪	5.2.2 Kantonale Hinweiskarten Solothurn, Luzern und Genf.....	57
▪	5.2.3 Vergleich mit den Daten von Avenches und Boiron de Morges .....	61
-	<b>6. Interpretationshilfe für die ERK2 (Fallbeispiele)</b> .....	<b>71</b>
o	6.1 Geländeform und Fliessrichtung aus der Erosionsrisikokarte abschätzen.....	71
▪	6.1.1 Beispiel 1: Geländeform .....	72
▪	6.1.2 Beispiel 2: Gestreckter Hang .....	74
▪	6.1.3 Beispiel 3 Talweg/Geländemulde .....	75
▪	6.1.4 Beispiel 4: Geländekante .....	76

▪	6.1.5 Beispiel 5: Hecken .....	77
○	6.2 Spezielle Erscheinungsformen in der ERK2 .....	78
▪	6.2.1 Beispiel 6: Einfluss unterschiedlicher Massstäbe (K-Faktor) .....	78
▪	6.2.2 Beispiel 7: Probleme an Kachelgrenzen .....	79
○	6.3 Vergleiche mit realen Ereignissen .....	80
-	<b>7. Weitere Analysen .....</b>	<b>86</b>
▪	7.1 Berechnen der Statistiken auf der Basis von rec_eros_xxx .....	86
▪	7.2 Ausschneiden der Gebiete der Bergzonen I und II oder des Ackerlandes .....	89
▪	7.3 Individuelle Farbanpassung von eros_z_xxx .....	90
▪	7.4 Unterteilung eines grossen Feldblocks .....	91
▪	7.5 Rebflächen .....	93
-	<b>8. Ausblick .....</b>	<b>94</b>
○	8.1 Detaillierung bzw. Optimierung der ERK2 .....	94
○	8.2 Aktualisierung der Karte .....	95
○	8.3 Software AV-Erosion 1.0 .....	96
-	<b>9. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>97</b>
-	<b>Anhang .....</b>	<b>100</b>

# 1. EINLEITUNG

## 1.1 Ausgangslage

In der Schweiz lässt sich seit einigen Jahren eine Zunahme von Wetterextremen beobachten, die sowohl periodischen Wassermangel wie auch Wasserüberschuss verursachen können. Es sei dahin gestellt, ob diese Phänomene einem Klimawandel zuzuordnen sind; die Frage ist vielmehr, wie man damit umgeht, sollte sich dieser Trend fortsetzen. Im Rahmen von COST 634 konnten in einer Zusammenarbeit des CDE (Abteilung Entwicklung und Umwelt, Geogr. Inst. Uni Bern) mit ART (Agroscope Reckenholz-Tänikon) auf zahlreichen Ackerparzellen wiederholt sehr hohe Bodenerosionsraten nachgewiesen werden. Diese können nicht nur Folgen für die Landwirtschaft und die landwirtschaftliche Produktion selbst haben (sogenannte „On-site“ Schäden). Sie führen auch zu teilweise beträchtlichen Schäden ausserhalb der von Erosion betroffenen Flächen (sogenannte „Off-Site“ Schäden) durch abfliessendes Wasser und Sediment in benachbarten Parzellen, an privater und öffentlicher Infrastruktur sowie zu Gewässerbelastungen. Die Folgen davon sind eine Zunahme an nachbarschaftlichen Konflikten, Reparaturkosten und Versicherungsfällen.

Mittels Feldarbeiten von 2 Doktorierenden (Schneider, Ledermann) sowie mehr als 15 Master- und Bachelorstudierenden der Uni Bern konnten die durch ART am Frienisberg durchgeführten langjährigen Erosionskartierungen auf ein Untersuchungsgebiet im Oberaargau (Melchnau/Rohrbach) sowie in Freiburg (Murist/Estavayer) ausgedehnt werden. Die Studien brachten eine Reihe von Erkenntnissen über die Wirkung sowie die Akzeptanz von bodenschonenden Massnahmen. Unter anderem wurde mit diesen Daten ein einfaches Erosionsvorhersagemodell (AV-Erosion, basierend auf der Universal Soil Loss Equation, frei erhältlich) getestet und validiert. Die Anwendung des Modells auf der Basis des DTM-AV mit 2 Meter Auflösung wurde in einer Masterarbeit in allen drei Gebieten überprüft (CHISHOLM 2008), in einer weiteren Arbeit am Frienisberg sogar mit effektiven Fruchtfolgewerten (C-Faktor) (GISLER 2009). Bei gemeinsamen Feldbegehungen von Forschenden und Landwirten wurde von VertreterInnen der kantonalen und Bundesbehörden grosses Interesse an einem solchen Hilfsmittel zur parzellengenauen Erosionsabschätzung bekundet.

Mit der Erosionsgefährdungskarte der Schweiz, die im Rahmen einer Diplomarbeit von S. Friedli in Zusammenarbeit von CDE Uni Bern und ART kürzlich erstellt worden ist (FRIEDLI 2006), liegt zwar eine digitale Gefährdungskarte vor, diese ist aber von der räumlichen Auflösung nur für nationale Übersichtszwecke, nicht aber für parzellenscharfe Massnahmenpläne geeignet. Die in drei Kantonen (SO, LU, GE) erstellten Erosionsrisikokarten im Massstab 1:25'000 haben sich gemäss Aussagen der kantonalen Fachstellen in der Praxis bewährt. Mit dem in diesem Projekt verwendeten Modell (AVErosion) und

dem Höhenmodell DTM-AV(2x2m) werden ähnliche, aber neuere und bessere Ansätze verwendet, die eine wesentlich präzisere Identifizierung kritischer Flächen - vor allem auch Talwege in kleinen Geländemulden - erlaubt.

## **1.2 Auftrag und Ziel**

Das vorliegende Projekt wurde während einer Exkursion der Beratungsgruppe Düngung und Umwelt (BDU), Untergruppe Bodenerosion, am 13. August 2008 diskutiert und von allen Beteiligten gutgeheissen.

Folgender Auftrag erfolgte im Mai 2009 durch das BLW an das CDE Uni Bern:

1. Im Rahmen des Projekts werden grossmassstäbliche (ca. 1:5'000) und parzellengenaue Karten der potentiellen Erosionsgefährdung für die nutzbare Ackerfläche der Schweiz sowie ein Benutzerhandbuch erstellt.
2. In Zusammenarbeit mit Agroscope ART und interessierten kantonalen Stellen (Landwirtschaftsämter bzw. Bodenschutzfachstellen) werden diese Karten so weit aufbereitet, dass sie zur Identifizierung von Parzellen oder Teilflächen davon verwendet werden können, auf denen Anforderungen des ÖLN bzw. der DZV oder der VBBo bezüglich Bodenschutz möglicherweise nicht eingehalten werden können bzw. auf denen Massnahmen zur Erosionsverminderung notwendig sind.

Die Arbeit wurde begleitet durch die „Arbeitsgruppe Boden“. Alle Methoden und Resultate wurden an mehreren Sitzungen der Arbeitsgruppe vorgestellt, mit ihr diskutiert und von ihr abgesegnet.

Mitglieder der Arbeitsgruppe sind:

A. Candinas, Vorsitz (BLW)

M. Fischler, Projektsekretariat (mf k&p)

L. Nyffenegger, M. Affentranger, M. Santschi, A. Stübi (BLW)

J.P. Clement (BAFU)

N. Emch (Kt. SO)

C. Kündig (Kt. VD)

A. Lehmann (Kt. FR)

A. Chervet (Kt. BE)

P. Julien (Agridea)

P. Weisskopf (ART)

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine potentielle Erosionsgefährdungskarte der Landwirtschaftlichen Nutzfläche zu erstellen, die folgende Kriterien erfüllt:

- wissenschaftlich abgesichert und anerkannt,
- schweizweit möglichst einheitlich,
- vergleichbar mit entsprechenden Karten aus EU-Ländern,
- digital bzw. GIS-basiert,
- frei verfügbares 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.

Beim vorliegenden Bericht handelt es sich um einen **technisch-wissenschaftlichen Bericht**, der die wissenschaftlichen Grundlagen erläutert, das technische Vorgehen im GIS zur Nutzung der Karte beschreibt und Interpretationshilfen der erstellten Karten bietet. Ob und wie die Erosionskarte möglicherweise eingesetzt werden kann, ist nicht Gegenstand dieses Berichtes.

### **1.3 Aussagekraft, Verwendungsmöglichkeiten und Limitierungen der Karte ERK2**

Das in der vorliegenden Karte dargestellte Erosionsrisiko ist die **potentielle Erosionsgefährdung** (Erosion, die theoretisch eintreten könnte, wenn der Boden völlig nackt wäre). Die Karte wird im Folgenden als **ERK2** bezeichnet (**Erosionsrisikokarte im 2x2m-Raster**). Für die Modellierung des Risikos wurden folgende Informationen verwendet:

- Hangneigung und –länge
- Niederschlagsverhältnisse
- Bodeneigenschaften

Diese zeitlich relativ stabilen Standortfaktoren widerspiegeln die örtlichen Gegebenheiten. Die aktuelle Landnutzung, Bodenbearbeitung und –bewirtschaftung wurde also nicht berücksichtigt, es wird überall unbedeckter, nackter Boden unterstellt. Informationen zur aktuellen Bodennutzung liegen erstens schweizweit nicht vor und können sich zweitens jährlich oder sogar saisonal ändern. Daher zeigt die Karte teilweise ein anderes Bild, als man es in der Realität antreffen wird. Berechnet wurde nicht nur das Ackerland, sondern fast die gesamte Landwirtschaftliche Nutzfläche (ohne Bergzone III, IV, ohne Sömmerungsweiden, ohne Obstanlagen, ohne gartenbaulich genutzte Flächen, ohne Pufferstreifen). Entsprechend sind viele der in der Karte als potentiell erosionsgefährdet oder potentiell hoch gefährdet klassierten Flächen mit Dauergrünland oder Weideland bewirtschaftet.

tet und durch ihre permanente Bodenbedeckung im Hinblick auf die Erosionsgefährdung wahrscheinlich unproblematisch. Dies zeigt sich vor allem in der Karte, in der die Bergzonen 1 und 2 enthalten sind (Abb. 4.1b). Aber auch in der Karte, die nur die Tal- und Hügelzone zeigt (Abb. 4.1a) sind diverse Flächen enthalten, die als Dauergrünland genutzt werden.

Die Verwendung der Karte zielt darauf ab, dass zunächst auf Grund ihrer örtlich spezifischen Standortfaktoren gefährdete Gebiete erkannt werden können. In einem zweiten Schritt ist dann abzuklären, welche Bewirtschaftung und Bodenbearbeitung in jenem Gebiet vorhanden ist. Hebt die Landnutzung oder Bewirtschaftung die erhobenen Anzeichen einer Erosionsgefährdung auf (z.B. Dauergrünland), so ist in diesem Gebiet mit hoher Wahrscheinlichkeit mit keinem Bodenabtrag zu rechnen. Fällt eine Beurteilung jedoch dahingehend aus, dass ein potentiell gefährdetes Gebiet (Karte) in der Realität mit risikofälligen Kulturen z.B. Kartoffeln oder Mais (konventioneller Anbau) bewirtschaftet wird, können genauere Abklärungen zeigen, ob evtl. Massnahmen zur Erosionsverhinderung zu ergreifen sind. Einerseits soll die Karte helfen, potentiell gefährdete Gebiete zu lokalisieren, andererseits soll sie durch ihre detaillierten Informationen bei einem bestätigten Verdacht mögliche Ansätze für geeignete Massnahmen aufzeigen.

Trotz eines weltweit vielfach verwendeten und validierten Modells (USLE bzw. MUSLE) wird die Realität in einem Modell immer auf irgendeine Weise abstrahiert und vereinfacht, um die Vorgänge fassbar und darstellbar zu machen. Das heisst, das prognostizierte Erosionsrisiko kann mit der verwendeten Methode in einigen Ausnahmefällen nicht richtig beurteilt worden sein. So kann es vorkommen, dass es in Gebieten, welche auf der Karte als nicht erosionsgefährdet eingestuft sind, in der Realität trotzdem vereinzelt zu Erosionsereignissen kommen kann, oder dass Gebiete noch stärker betroffen sind, als dies in der Karte dargestellt wird. Dies kann mehrere Gründe haben:

### **Abweichungen vom prognostizierten Erosionsrisiko**

- geologisch bedingte Hangwasseraustritte
- defekte Drainageleitungen
- Fremdwassereintritt von ausserhalb/oberhalb des Feldblockes liegenden Flächen (run-on)
  - o von Strassen und Wegen
  - o aus dem Wald
  - o bei vollen oder verstopften Einlaufschächten
  - o bei Überflutungen durch Fliessgewässer
- extreme, lokale Niederschlagsereignisse
- massive Bodenverdichtungen durch unsachgemässes Befahren oder anderweitig stark strukturschädigten Böden

- lokale, sehr erosionsanfällige Böden, die durch die grobe Klassierung der Bodenkarte nicht erfasst wurden
- Erosion in Ackerrandfurchen oder Fahrgassen
- die Berechnungseinheit des Feldblockes entspricht nicht der Realität, aktuelle Änderungen der Feldblockgrösse durch Anlage oder Aufgabe von Strassen, Hecken etc. (z.B. bei Meliorationen). Bei Änderungen an abfluss- bzw. erosionsrelevanten Stellen (z.B. quer zum Hang) ist eine Neuberechnung notwendig.

Dies sind Prozesse, welche durch die verwendete Methode und das Modell nicht abgebildet werden und somit zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Karte und der Realität führen können. Es ist aber auch eine Abweichung der Resultate in umgekehrter Richtung möglich, da die Datengrundlagen vor allem im Bereich Berechnungseinheit („Feldblock“) veränderbar sind. Das heisst, es ist möglich, dass es z.B. neue Wege, Strassen, Gebäude usw. gibt, welche durch ihre Lage im Gelände die topologischen Gegebenheiten verändern und somit auch das Erosionsrisiko verändern.

Des Weiteren sei darauf hingewiesen, dass man beim verwendeten Erosionsmodell (MUSLE87) von einem langjährigen mittleren Bodenabtrag ausgeht, der mindestens 20 Jahre in Betracht zieht. So ist es durchaus möglich, dass auf einer gefährdeten Parzelle eine risikobehaftete Kultur angebaut wurde, aber in diesem Jahr keine nennenswerten Erosionsereignisse zu registrieren waren. Die Parzelle als solche ist dadurch aber nicht als ungefährdet zu taxieren, da es in den nächsten Jahren durchaus zu solchen Ereignissen kommen könnte.

Die Erfahrungen, welche mit dem verwendeten Modell und dem Vergleich mit den real stattfindenden Ereignissen gemacht wurden, belegen jedoch, dass es eine relativ grosse Übereinstimmung der Prognosen mit der Realität gibt.

### **1.3.1 Kurzanleitung der Vorgehensweise für den Anwender**

- relevantes Gebiet auf dem Übersichtsplan\_Eros\_CH lokalisieren
- entsprechende Daten des betroffenen LK50-Blattes öffnen (eros\_z\_xxx.lyr und rec\_eros\_xxx<sup>1</sup>)
- zur besseren Orientierung können andere Datensätze hinterlegt werden, z.B. Vector25 Karte, Luftbilder, Orthophotos usw. (vgl. Anhang 3a, b)
- auf der ERK2 mit 3 Klassen (rec\_eros\_xxx) Überblick verschaffen und feststellen, ob Erosionsgefährdung für eine Betrachtungseinheit z.B. Feldblock oder Parzelle vorliegt
- hierzu kann auch eine statistische Auswertung gemacht werden (vgl. Kapitel 7.1)
  - o dazu können auch andere Berechnungseinheiten überlagert werden, z.B. Parzellenpläne usw. (vgl. Kap. 7.1)
- Landnutzung der betrachteten Einheit überprüfen: wenn Dauergrünland, keine Erosionsgefährdung, wenn Ackerland, Kunstwiese, Reben oder Nutzung unklar, Erosionsgefährdung möglich, ERK2 mit 9 Klassen (eros\_z\_xxx) für detailliertere Analyse anschauen
- auf der Karte eros\_z\_xxx können Reliefeigenschaften abgeschätzt werden und Rückschlüsse auf die relevanten Faktoren des erhöhten Erosionsrisikos gezogen werden (vgl. Kapitel 6)
  - o zusätzlich können auch die Daten der einzelnen Faktoren geöffnet werden; k\_fak\_xxx, s\_fak\_xxx, l\_fak\_xxx und r\_fak\_xxx (vgl. Anhang 4 für schweizweiten Überblick)
  - o liegen dem Anwender z.B. detailliertere Bodenkarten vor, können diese eingelesen werden (s. Kap. 4.2.2.)
- danach Abklärungen zu Fruchtfolge und Bodenbearbeitungsverfahren auf betroffener Parzelle/betroffenen Parzellen machen
- bei problematischer Fruchtfolge oder Bodenbearbeitung ist zur Ursachenabklärung eine Feldbegehung notwendig. Gegebenenfalls Massnahmenplan erstellen.

---

<sup>1</sup> „xxx“ steht als Platzhalter für die Nummer der LK50, z.B. eros\_z\_205

## 2. DAS EROSIONSMODELL AVEROSION

Die Software, welche für die Berechnungen des potentiellen Bodenabtrags verwendet wird, heisst AVErosion 1.0 und ist eine Extension für das Programm ArcView 3.x. Das Modell wurde von SCHÄUBLE (1999, 2005) entwickelt und wird derzeit von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) im Rahmen von Cross Compliance eingesetzt (Bischoff & Gullich 2009, Bischoff et al. 2009, URL: [http://www.tll.de/verstola/lwbs\\_idx.htm](http://www.tll.de/verstola/lwbs_idx.htm)). In der Schweiz wurde es in zwei Diplomarbeiten getestet (CHISHOLM 2008, GISLER 2009)). Da in diesen Arbeiten (SCHÄUBLE (1999, 2005), CHISHOLM (2008) und GISLER (2009)) die Eigenheiten, Funktionalität des Programms und die Anforderungen an das Datenmaterial eingehend diskutiert wurden, werden hier nur die wichtigsten Informationen zum Programm und dem Datenmaterial gegeben. Für weitergehende Informationen wird auf die genannten Quellen verwiesen. Die Software kann gratis heruntergeladen werden und findet sich unter:

URL: <http://www.terracs.com/produkte/software/av-erosion.html> (Stand: 3.8.2010).

### 2.1 Modellgrundlagen AVErosion 1.0

AVErosion berechnet aus fünf bereitgestellten Layern unter Verwendung der MUSLE87 (Modified Universal Soil Loss Equation 1987 (HENSEL & BORK 1988)) einen langjährigen mittleren Bodenabtrag in  $t/(ha*a)$ .

Die fünf benötigten Eingabedatensätze sind:

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

Die MUSLE87 entspricht einer leicht abgeänderten Form der USLE (Universal Soil Loss Equation) bzw. RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) von WISCHMEIER & SMITH (1978), welche im deutschen Sprachgebrauch in einer adaptierten Version als Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG) bekannt ist.

Die MUSLE87 berechnet aus 6 Faktoren, welche aus den bereitgestellten Layern abgeleitet werden, den mittleren langjährigen Bodenabtrag in  $t/(ha*a)$ .

Die Formel zur MUSLE87 lautet:

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

Mit:

**A** = Langjähriger, mittlerer jährlicher Bodenabtrag in t/(ha\*a)

**R** = Regen- und Oberflächenabflussfaktor, Niederschlagserosivität

**K** = Bodenerodierbarkeitsfaktor

**L** = Grösse des Einzugsgebietes, Hanglänge

**S** = Hangneigungsfaktor

**C** = Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor

**P** = Erosionsschutzfaktor

Bei der MUSLE87 erfolgt die Berechnung der Relieffaktoren in Einzugsgebietsdimension, d.h. unter Einbezug von Nachbarschaftsbeziehungen und unter Berücksichtigung von Hangrichtungswechseln. Sie beruht auf dem „Unit Contributing Area Konzept“ und verwendet „Multiple-flow Algorithmen“, im Gegensatz zur klassischen USLE, die auf dem „Regular Slope Konzept“ beruht und „Single-flow Algorithmen“ verwendet (siehe Abb. 2.1). Der Unterschied zur klassischen USLE-Berechnung liegt also vor allem beim L-Faktor; der P-Faktor ist ebenfalls modifiziert. AVErosion führt vorgängig eine automatische Überprüfung bzw. Korrektur des digitalen Geländemodells durch (siehe Kapitel 3.2.2).

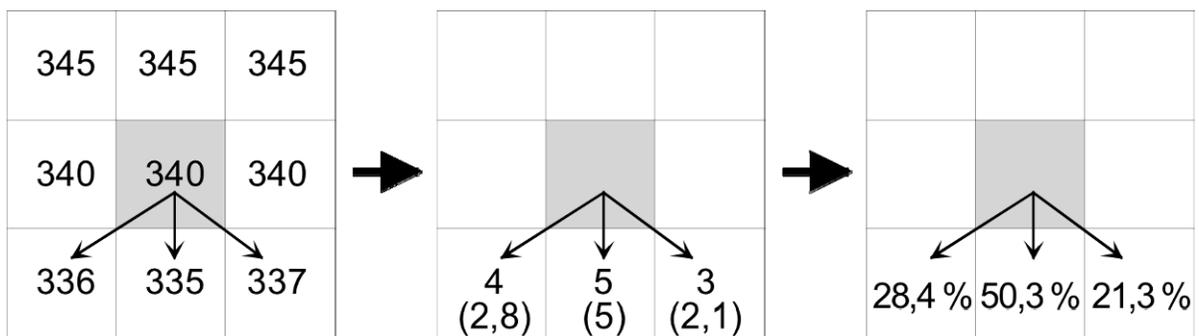
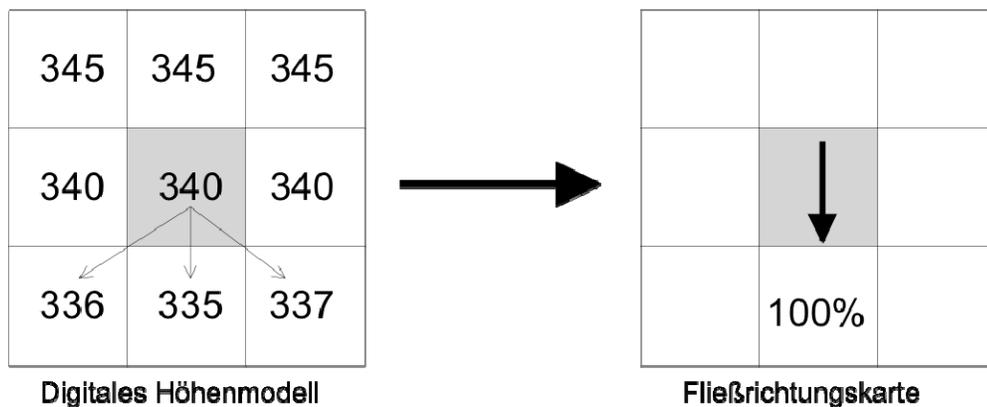


Abb. 2.1: Fließwege bei der USLE (oben) und MUSLE87 mit der Multiple-Flow Berechnung (unten). Quelle: SCHÄUBLE (1999)

Berechnung des L-Faktors nach MUSLE87 und USLE:

**L-Faktor:**

- $m = \beta / (1 + \beta)$ , Hanglängenexponent, der das Verhältnis von Rillen- zu flächenhafter Erosion angibt
- $\beta = (\sin\Theta) / 0.0896 / (3 * (\sin\Theta)^{0.8} + 0.56)$ , Anfälligkeit für Rillenerosion. Diese wächst mit steigender Neigung
- $\Theta =$  Hangneigung in Grad [°]
- $\lambda =$  maximale Fließlänge in Metern (= USLE) oder Grösse des Einzugsgebietes in Zahl der akkumulierten Zellen \* Zellengrösse in Metern (=MUSLE87)

$$L_i = \frac{\lambda_i^{m+1} - \lambda_{i-1}^{m+1}}{(\lambda_i - \lambda_{i-1}) * 22.13^m} \quad \text{anstatt: } L = \frac{\lambda}{22.13^m}$$

**Hierbei bedeuten:**

$i =$  i-tes Teilstück am Hang von oben

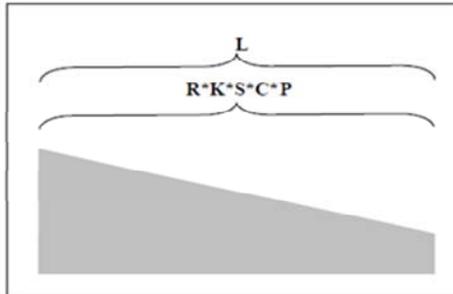
$L_i =$  lokaler L-Faktor an einem bestimmten Punkt oder Abschnitt eines Hangs

$\lambda_i =$  Entfernung vom Hanganfang bzw. einer hydrologischen Barriere bis zum unteren Ende des i-ten Teilstücks in m

$m =$  Hanglängenexponent des Gesamthangs, entspricht dem m-Wert aus Kap. 2.2

Die erweiterte USLE-Formel lautet für die MUSLE-Berechnung nun:

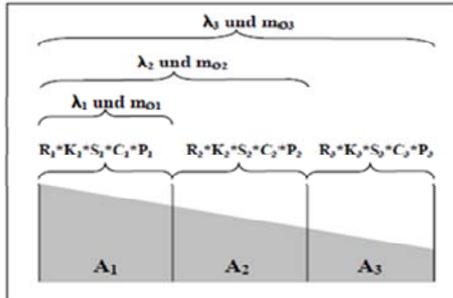
$$A_i = R_i * K_i * S_i * C_i * P_i * \underbrace{\frac{\lambda_i^{(m+1)} - \lambda_{i-1}^{(m+1)}}{(\lambda_i - \lambda_{i-1}) * (22.13)^m}}_{\text{lokaler L-Faktor (= } L_i)}$$



Quelle: Eigener Entwurf

**Standard-RUSLE-Erosionsprognose**

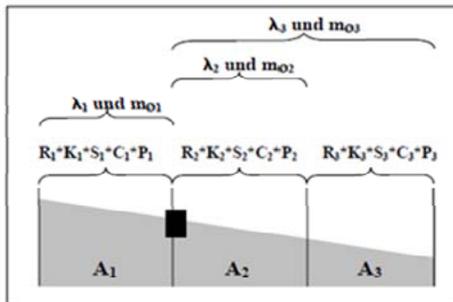
$$A = R \cdot K \cdot S \cdot C \cdot P \cdot L \text{ mit } L = (\lambda/22.13)^m$$



Quelle: Eigener Entwurf

**Erweiterte RUSLE-Erosionsprognose**

$$A = (A_1 + A_2 + A_3) / 3$$



Quelle: Eigener Entwurf

**Erweiterte RUSLE-Erosionsprognose mit Hindernis**

$$A = (A_1) \text{ und } A = (A_2 + A_3)$$

Abb. 2.2: Berechnung des L-Faktors nach der MUSLE87. Quelle: SCHÄUBLE (1999)

## 2.2 Überblick Grundlegendaten

### *Schlagraster*

Das Schlagraster ist die Berechnungseinheit und dient zur Abgrenzung der Berechnungen gegen aussen. Es wirkt mittels seiner Grenzen wie Strassen, Wege, Flüsse, Bäche usw. als Fliessbarriere bei den Berechnungen der einzelnen Faktoren. Es können Schläge, Anbauparzellen, Feldblöcke, Besitzparzellen, Feldstücke oder andere abgrenzbare Einheiten sein.

### *Digitales Höhenmodell*

Aus dem digitalen Höhenmodell werden die Faktoren S, L und P berechnet. Für dieses Projekt wurde das DTM-AV von der Landestopographie verwendet. Das Höhenmodell weist eine Auflösung von 2x2m auf und hat einen mittleren Fehler von  $\pm 50\text{cm}$  (swisstopo 2005).

*Raster mit K-Faktoren*

Dieses Raster beinhaltet Informationen zur Bodenerodierbarkeit und wurde aus der K-Faktorkarte von FRIEDLI (2006) und ergänzenden, detaillierten kantonalen Bodenkarten erstellt.

*Raster mit R-Faktoren*

Dieses Raster gibt die Niederschlagserosivität, also die Verteilung erosionswirksamer Energie der Niederschläge, der Schweiz wieder und wurde direkt von FRIEDLI (2006) ohne Änderungen übernommen.

*Raster mit C-Faktoren*

Der C-Faktor gibt die erosionsmildernde Wirkung der Bodenbedeckung und -bearbeitung gegenüber einem Acker mit langjähriger Schwarzbrache an. Da es im Rahmen dieses Projektes nicht möglich war, für Ackerflächen die aktuellen Fruchtfolgen und Bearbeitungsmethoden zu erfassen, wird dieser Faktor als Konstante 1 gesetzt. Dies bewirkt, dass das Resultat der Berechnungen zu einer **potentiellen** Erosionsabschätzung auf Grund der natürlichen Standortfaktoren, ohne Berücksichtigung der Bodenbedeckung, wird.

### **2.3 Resultate Bruttoerosion**

AVErosion berechnet aus diesen Grundlagendaten die notwendigen 6 Faktoren, wobei der C-, K- und R-Faktor ohne weitere Berechnungsschritte übernommen werden. Die Faktoren S, L und P werden aus dem digitalen Höhenmodell berechnet. Zuerst wird dieses jedoch einer Prüfung und allfälligen Korrektur unterzogen. Bei dieser Prüfung werden abflusslose Senken identifiziert und in der anschliessenden Korrektur beseitigt damit ein hydrologisch korrektes Höhenmodell entsteht (detaillierte Informationen dazu in Kap. 3.2.2). Die Begrenzung für die Berechnungen des S-, L- und P-Faktors so wie der anschliessenden Erosionsrisikokarte bildet das Schlagraster. In unserem Falle handelt es sich dabei um eine Feldblockkarte (vgl. Kap. 3.1.3 und 3.1.4). Diese bestimmt durch ihre Grenzen die Anfangs- und Endpunkte der jeweiligen Berechnungen. Wenn alle sechs Faktoren vorhanden sind, werden die einzelnen Raster miteinander multipliziert und die resultierenden Erosionsrisikokarten werden ausgegeben.

Diese zeigen die Bruttoerosion als mittleren jährlichen Bodenabtrag in  $t/(ha \cdot a)$ . In unserem Falle ist dies der potentielle Bodenabtrag auf Grund der Standortfaktoren ohne Berücksichtigung der Bodenbedeckung. **Die Bruttoerosion zeigt den gesamten Bodenabtrag und berücksichtigt dabei die Differenz zwischen Abtrag und Ablagerung von Bodenmaterial nicht.**

Bei AVErosion werden zwei Karten ausgegeben. Einmal pixelscharf, d.h. aufgelöst auf  $2 \times 2m$  und zusätzlich noch mit den jeweiligen Mittelwerten pro Feldblock. Letzteres wurde aber für dieses Projekt nicht weiter verwendet. Die berechneten Faktoren S und L werden ebenfalls als Rasterdatensätze ausgegeben.

### **3. BESCHREIBUNG DER EINZELNEN GRUNDLAGEN-DATEN**

Im Folgenden werden die für dieses Projekt erstellten Grundlagendaten genauer beschrieben. Die Produktion des Schlagrasters, die Aufbereitung und Herstellung des K-Faktorrasters wird erläutert und Probleme mit dem verwendeten digitalen Höhenmodell werden angesprochen. Auf die Faktoren C, R, S, L und P wird nicht mehr im Detail eingegangen, da diese z.T. direkt aus anderen Arbeiten übernommen wurden, Produkte von anderen Grundlagendaten sind oder als Konstanten gesetzt wurden. Weitere Informationen zu den Faktoren finden sich in den angegebenen Quellen.

#### **3.1 Schlagraster und Feldblöcke**

Das Schlagraster gibt die zu berechnende Fläche vor. Innerhalb seiner Grenzen werden die einzelnen Faktoren generiert und zur resultierenden Erosionsabschätzung verrechnet. Es können Anbauparzellen, Feldblöcke, Besitzparzellen, Feldstücke oder andere abgrenzbare Einheiten sein. Da Erosion hauptsächlich auf Ackerfeldern zu Problemen führt, wollte wir anfänglich versuchen, die Ackerfelder der Schweiz einzugrenzen. Da die digitale Datenlage schweizweit aber momentan (ein flächendeckender digitaler Parzellenplan ist erst für 2015 geplant) nicht für eine sinnvolle Eingrenzung der Ackerfelder ausreicht, wurde nach anderen Lösungsansätzen gesucht. Am Schluss standen zwei Varianten zur Auswahl: Zum einen die Daten der amtlichen Vermessung, welche in der Kategorie Bodenbedeckung eine Klasse „Acker, Weide, Wiese“ aufweist und zum anderen Daten der Vector25-Karte (swisstopo).

Daten der amtlichen Vermessung (= digitale Grundbuchpläne).

Vorteile:

- etwas höhere Genauigkeit als Vector25
- Kategorie „Acker, Wiese, Weide“, in einzelnen Kantonen noch unterteilt in „Acker, Wiese“ und „Weide“

Nachteile:

- nicht flächendeckend über die ganze Schweiz vorhanden
- Datensatz aufgeteilt auf Gemeindeneiveau (Datenbeschaffung)

Vector25-Karte (swisstopo) (= digitales Landschaftsmodell)

Vorteile:

- homogener Datensatz
- flächendeckend über die ganze Schweiz vorhanden

- bildet die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche ab
- gutes Gewässer- und Strassennetz, um die einzelnen Flächen einzugrenzen
- diverse weitere Attribute, welche für die Erosion entscheidend sind
  - o Hecken, Bäume, Obstanlagen, Reben, Eisenbahnnetz, einzelne Gebäude, Sümpfe usw.

Nachteile:

- Genauigkeit mit 3-8m etwas niedriger als bei den Daten der amtlichen Vermessung

Wegen den genannten Vorteilen wurde die Vector25-Karte als Berechnungseinheit gewählt.

#### **3.1.1 Vector25**

Aus der Vector25 Karte wurde das Schlagraster (Feldblockplan) erstellt. Der Datensatz Vector25 ist das digitale Landschaftsmodell der Schweiz und wird grundsätzlich aus der Pixelkarte der 1:25'000er Landeskarte (PK25) und hinzugezogenen fotogrammetrisch ausgewerteten Daten erstellt. Es gibt 9 thematische Ebenen:

<b>Strassennetz (STR)</b>	<b>Gewässernetz (GWN)</b>	<b>Hecken und Bäume (HEB)</b>
<b>Eisenbahnnetz (EIS)</b>	<b>Primärflächen (PRI)</b>	<b>Anlagen (ANL)</b>
<b>Übriger Verkehr (UVK)</b>	<b>Gebäude (GEB)</b>	<b>Einzelobjekte (EOB)</b>

Diese Ebenen beinhalten unterschiedliche Attribute, welche als Linien-, Punkt- oder Polygeometrien vorliegen und im GIS verwendet werden können.

Seit dem Release 2007 wird für die meisten Ebenen GN25 zur Nachführung benutzt. GN25 ist die Gesamtnachführung 1:25'000 = Daten aus der Fotogrammetrie. Für die Ebene "Hecken und Bäume" (HEB) wird weiterhin die LK25 verwendet. Seit dem Release 2008 wird zusätzlich mit digitalen Orthobildern gearbeitet. Da die Nachführungen auf der Aktualisierung der Landeskarte und fotogrammetrischen Daten beruhen und diese laufend ergänzt und erneuert werden, wird die Vektorkarte im Zyklus von 6 Jahren ebenfalls laufend nachgeführt (siehe Abb. 3.1).

Ab 2011 wird Vector25 dann vom Topographischen Landschaftsmodell TLM abgelöst. Dieses Modell wird ausschliesslich auf der Basis von Luftbildern (digitale Fotogrammetrie) erstellt. Somit ist das Update 2008 die letzte Nachführung des Vector25-Datensatzes. Bei einer Nachführung werden eigentlich immer alle Ebenen eines Blattes aktualisiert. Dies geschieht in der Reihenfolge PRI, GWN, STR, EOB, EIS, ANL, UVK, GEB und HEB (swisstopo – Vector25, Release 2008).

Bei einer Aktualisierung der ERK2 kann also in Zukunft nicht mit einer aktualisierten Karte Vector25 gerechnet werden, sondern es muss das neue TLM verwendet werden. Wie TLM sich von Vector25 unterscheidet und welche Konsequenzen dies für eine Neuberechnung mit AVErosion hat, ist unklar.

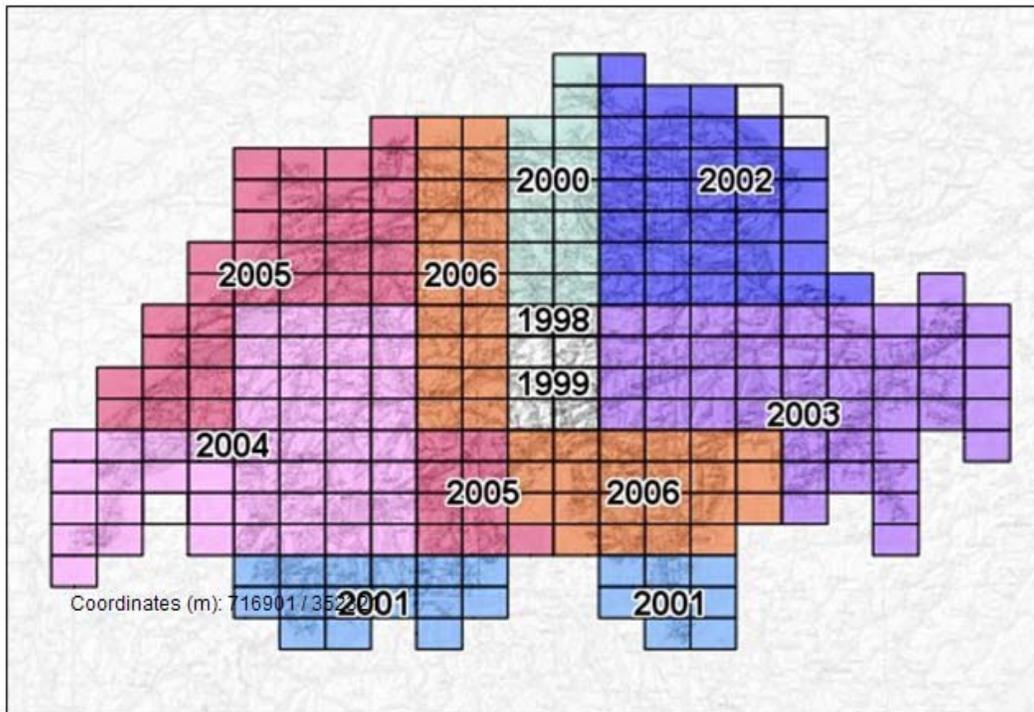


Abb. 3.1: Nachführungsstand Vector25. Quelle: [http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/vector25\\_production.print.html#mapviewjump](http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/vector25_production.print.html#mapviewjump).

#### **3.1.2 Berechnungsgebiet**

Es wurde in Absprache mit der AG Boden entschieden, die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) in der Talzone, der Hügelzone und den Bergzonen I und II zu berechnen. Die Bergzonen III und IV so wie das Sömmerungsgebiet, die Obstanlagen, der Gartenbau und Pufferstreifen wurden von den Berechnungen ausgeklammert (Abb. 3.2). Gemäss SBV (2009) befinden sich nur 1'480 ha bzw. 0,4% des gesamten Ackerlandes in den Bergzonen III und IV. In den Bergzonen I und II befinden sich mit 9% ebenfalls relativ geringe Anteile des Ackerlandes der Schweiz. Entsprechend wurden zwei Karten (nur Talgebiet, Abb. 4.1a; Talgebiet plus Bergzone I und II, Abb. 4.1b) erstellt. **Das Talgebiet umfasst die Tal- und Hügelzone.**

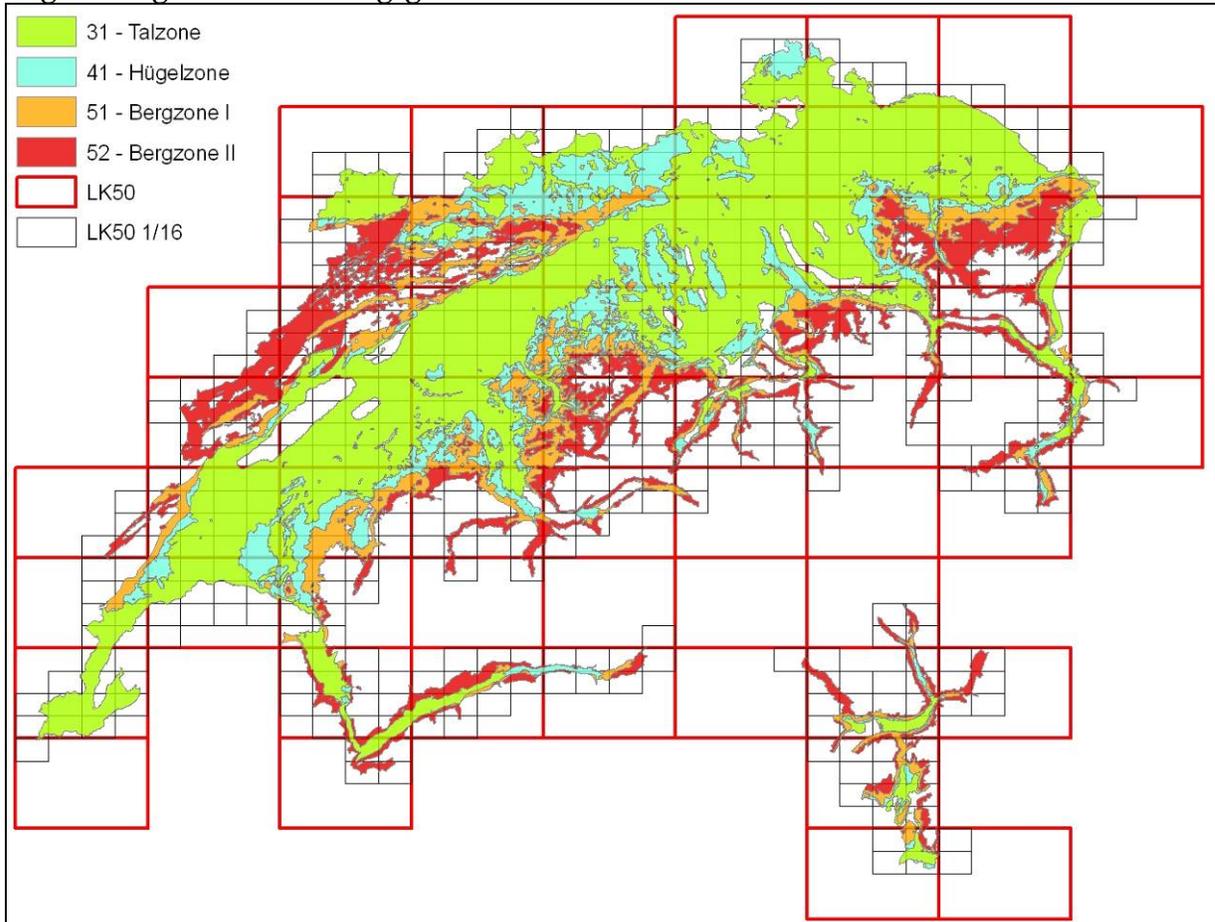
**Begrenzung des Berechnungsgebietes durch die Landwirtschaftszonen**

Abb. 3.2: Quelle: Landwirtschaftszonen und LK50 (swisstopo), eigene Darstellung.

**3.1.3 Feldblock**

Als Grundeinheit wurde der sogenannte „Feldblock“ gewählt. Diese Einheit wird in einigen Teilen Deutschlands (z.B. Thüringen, Niedersachsen u.a.) als Grundeinheit für die Erosionsberechnungen verwendet. Da die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) seit längerem ebenfalls mit dem Programm AVErosion ihre Erosionsabschätzungen erstellt und dazu den Feldblock als Grundeinheit verwendet, haben wir uns im vorliegenden Projekt entschieden, ebenfalls den Feldblock als Grundeinheit zu verwenden.

Die Definition der Landesregierung Schleswig-Holstein lautet:

- ❖ *Ein Feldblock ist eine zusammenhängende landwirtschaftlich nutzbare Fläche, die von relativ stabilen, in der Natur erkennbaren Außengrenzen (zum Beispiel Wald, Straßen, bebaute Flächen, Gewässer, Knicks, Gräben) umgeben ist.*
- ❖ *Ein Feldblock kann durch einen oder mehrere Landwirte bewirtschaftet werden.*

Ein Feldblock kann also mehrere Anbauparzellen, wie wir sie aus einem Parzellenplan kennen, beinhalten (siehe Abb. 3.3). Er kann unterschiedlichen Nutzungsarten (Ackerland/Dauergrünland/Reben bzw. verschiedene Ackerkulturen) unterliegen und von verschiedenen Landwirten bewirtschaftet werden.



Abb. 3.3: Feldblöcke. Quelle: eigene Darstellung, Luftbild © Google-Earth.

Die Einheit „Feldblock“ kommt dem Prinzip der erosiven Hanglänge, welche bei der Erosionsberechnung wichtig ist, entgegen. Schlag- bzw. Anbauparzellengrenzen stellen i.d.R. keine ausreichenden und dauerhaften Hindernisse für Oberflächenabfluss und Erosion dar, so dass die erosive Hanglänge über mehrere Anbauparzellen für den gesamten Hang gerechnet wird. Wald, Strassen, Gewässer etc. stellen dagegen permanente und wirksame Hindernisse dar.

Ein Feldblock stellt somit eine Art geschlossenes hydrologisches Einzugsgebiet dar, in dem alle Pixel 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 Wasserflüsse und Erosion innerhalb des Feldblockes im Modell nicht beeinflussen**, in der Realität schon (siehe Kap. 1.4). Fremdwasserzufluss ist im Modell also nicht möglich.

### **3.1.4 Herstellung Feldblockplan**

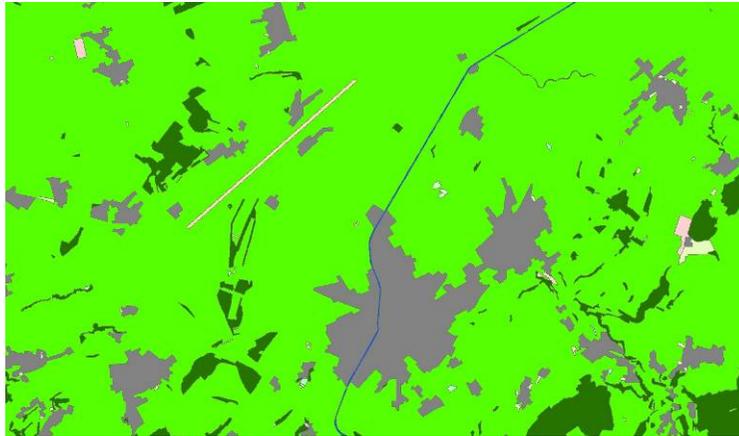
Um auf der Grundlage von Vector25 (swisstopo) einen einheitlichen Feldblockplan für die ganze Schweiz zu erstellen, wurde folgendes Vorgehen angewendet (siehe Anhang 5):

- ❖ Grundlage für die Feldblöcke sind die sogenannten Primärflächen von Vector25, welche die primäre topologische Bodenbedeckung angeben und ein lückenloses Flächennetz über die gesamte Schweiz bilden (swisstopo 2007 - Vector25).
  - Daraus wurde die Kategorie „Z\_Uebrig“ genommen (landwirtschaftlich genutzte Fläche im weiteren Sinne).
  - Dazu wurde die Kategorie „Z\_Reben“ als selbständige Klasse genommen.
  
- ❖ In diesen Grundlayer werden nun die einzelnen Objekte, welche die Feldblöcke gegeneinander abgrenzen, eingeschnitten.
  - Dazu zählen Strassen, Wege, Flüsse, Bäche, Eisenbahnlinien u.a.
    - Da diese Linien-Objekte in Vector25 keine definierten Breiten haben, wurden ihnen verschiedene Breiten zugeordnet. Grundlage dafür waren gesetzliche Bestimmungen, Vergleiche und eine schon vorhandene Zuweisung von Breiten in einem früheren Projekt (Erich Szerencsits, ART) (vgl. Anhang 5).
  
- ❖ Des Weiteren wurden Pufferstreifen (Schutzstreifen) zu den Linien-Objekten addiert, wo diese gesetzlich festgelegt waren und ebenfalls wurden Pufferstreifen zu Polygon-Objekten addiert z.B. 3m um Waldflächen.
  - Die Festlegung der Pufferstreifen basiert auf dem Dokument: Pufferstreifen – richtig messen und bewirtschaften (KIP & PIOCH 2009).
  - Diese Flächen wurden ebenfalls von der Grundlage der Primärflächen (Z\_Uebrig, Z\_Reben) abgezählt.
  
- ❖ Hecken und Einzelbäume wurden mit einem Puffer aus der Primärfläche ausgeschnitten.
  
- ❖ Siedlungsgebiete, Gebäude und Anlagen wurde mit ihrer individuellen Grösse ebenfalls abgezogen.
  
- ❖ Obstanlagen und Baumschulen wurden ebenfalls aus der Berechnungsfläche ausgeschnitten, obwohl sie zur LN gehören.
  - Einerseits ist in diesen Flächen mit keiner Erosion zu rechnen.
  - Andererseits schreibt man ihnen einen schützenden Effekt für nachfolgende Felder zu. Dieser Effekt tritt bei der Modellierung mit AVErosion erst ein, wenn diese Felder ausgeschnitten werden (Verkürzung der erosiven Hanglänge).

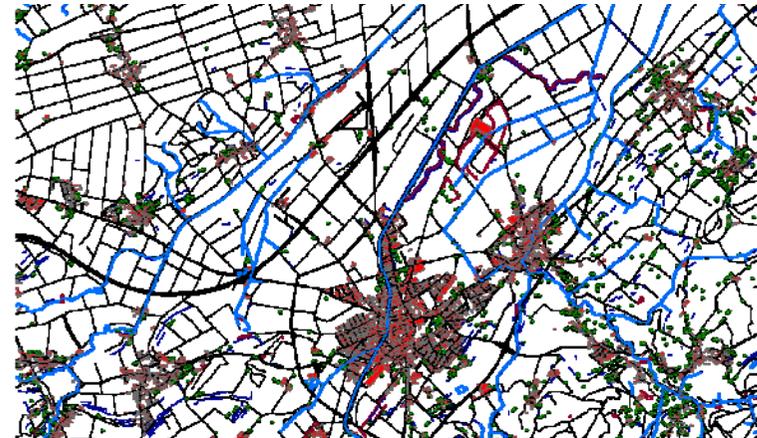
Eine schematische Darstellung dieses Prozesses findet sich in der Abbildung 3.4 auf der nächsten Seite. Die Primärflächen werden mit den Linien-Objekten und ausgewählte Polygon-Objekten mit ihren entsprechenden Breiten und Puffern verschnitten<sup>2</sup>. Übrig bleibt ein Datensatz, welcher als Feldblockplan bezeichnet werden kann. Diese so entstandenen Feldblöcke sind klar voneinander abgegrenzte einzelne Teilflächen. Sie dienen als Schlagraster bei den Grundlagendaten in AVErosion.

---

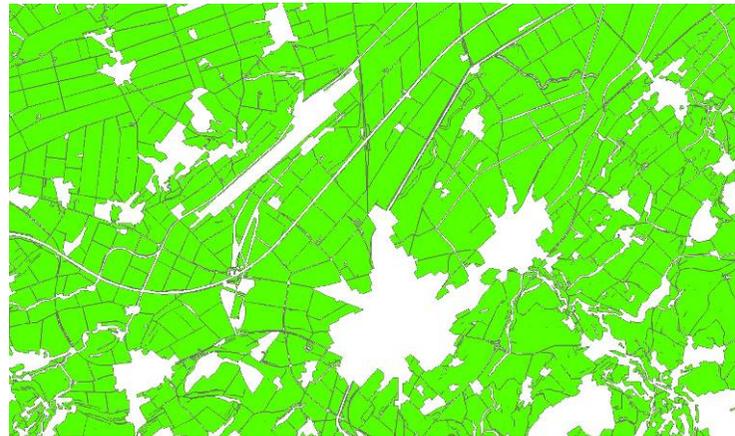
<sup>2</sup> Eine Liste mit allen verwendeten und nicht verwendeten Attributen von Vector25 und ihren entsprechenden Breiten und Puffern findet sich im Anhang 5



Primärflächen – lückenloser, flächendeckender Poly-  
gondatensatz



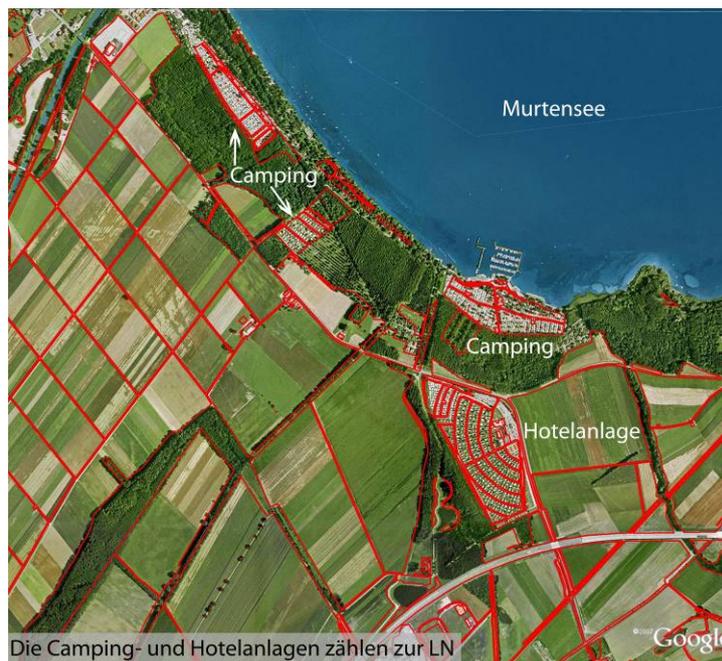
Lineare Elemente und Polygonobjekte mit entsprechen-  
den Breiten und Puffern



Resultierende Feldblockkarte nach dem Einschneiden  
aller relevanten Attribute

Abb. 3.4: Schematische Darstellung der Herstellung der Feldblockkarte. Quelle: Vector25 Karte (swisstopo), eigene Darstellung.

Die Fläche, die am Ende dieses Prozesses übrig bleibt, ist die landwirtschaftlich genutzte Fläche im weiteren Sinne. Denn die Kategorie „Z\_Uebrig“ weist einige Gebiete aus, welche eigentlich nicht zur LN gezählt werden können. Da dies aber nur einen kleinen Teil der Flächen betrifft und das Ausmerzen solcher Flächen viel Zeit in Anspruch nehmen würde (Vergleiche mit Luftbildern o.ä.), sind diese Gebiete in der Feldblockkarte noch enthalten. Der Anwender muss selber entscheiden, ob er solche Flächen (z.B. Golfplätze) für seine Untersuchungen berücksichtigen will oder nicht. Im Folgenden sind einige Beispiele aufgeführt, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben (Abb. 3.5 – 3.7). Problemfälle sind z.B. Campingplätze, Golfanlagen, Schrebergärten, Fussballplätze, Panzerpisten etc.



Die Camping- und Hotelanlagen zählen zur LN

Abb. 3.5: Campingplätze als Teil der LN. Quelle: Luftbild aus Google-Earth, Feldblockkarte aus Vector25 (swisstopo), eigene Darstellung.

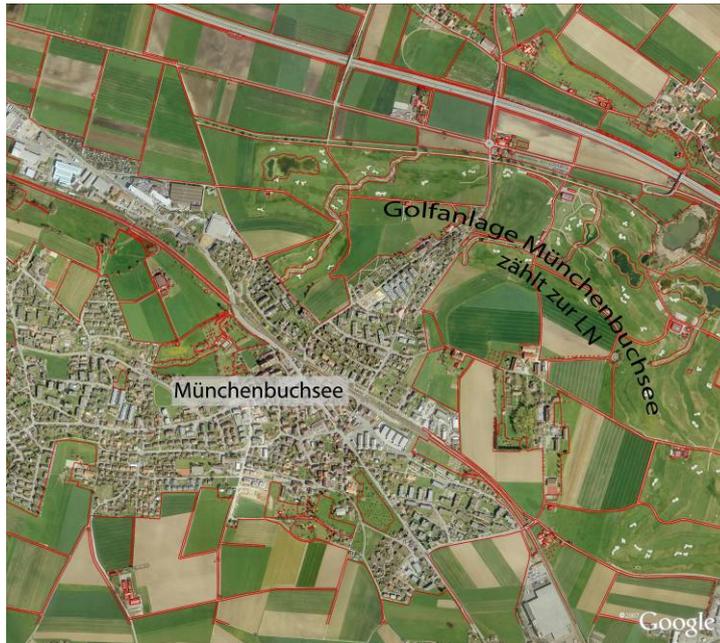


Abb. 3.6: Golfplatz als Teil der LN. Quelle: Luftbild aus Google-Earth, Feldblockkarte aus Vector25 (swisstopo), eigene Darstellung.

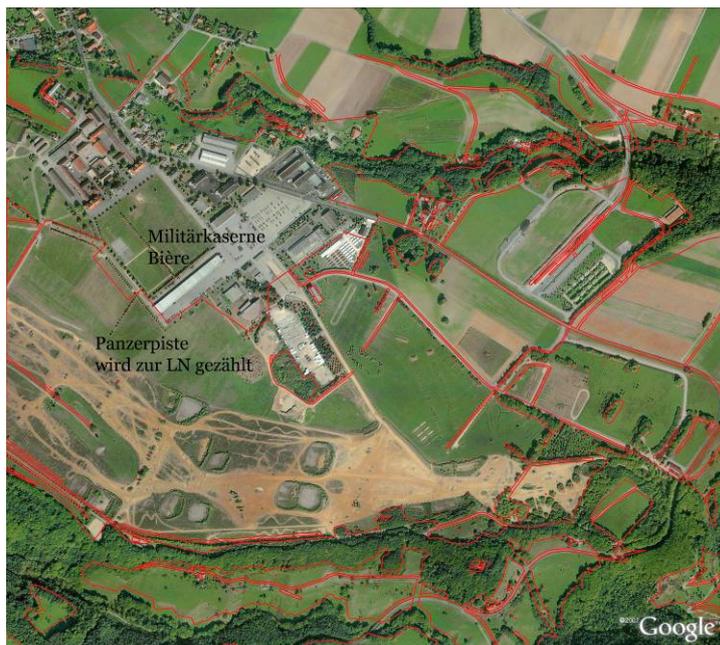


Abb. 3.7: Panzerpiste als Teil der LN. Quelle: Luftbild aus Google-Earth, Feldblockkarte aus Vector25 (swisstopo), eigene Darstellung.

Der Entscheid für Vector25 als Basis und Feldblöcke als Grundeinheit war ein Entscheid zu Gunsten von Randflächen. Deshalb ist auch ein grosser Teil der ausgewiesenen Flächen (vor allem Richtung Voralpen und im Jura) aktuell als Wiesland oder Weidefläche in Nutzung und für derzeitige Erosionsabschätzungen nicht relevant. Die Erfahrung mit ähnlichen Karten zeigte aber, dass in der Praxis eine ganzheitliche Abdeckung des Gebietes besseren Anklang findet, als eine löchrige inhomogene Karte, welche versucht, nur die wirklich relevanten Flächen zu beschreiben. Eine zu starke Eingrenzung der Fläche würde auch der Um-

wandlung und Umnutzung von landwirtschaftlich genutztem Land nicht Rechnung tragen, zumal eine solche Eingrenzung mit dem bereitstehenden Datenmaterial zurzeit nicht flächendeckend realisiert werden könnte. Die Devise lautete also: „Lieber zu viele Flächen berechnen als zu wenige.“ Nicht relevante Flächen können im Nachhinein mittels entsprechender GIS-Tools ohne weiteres ausgeschnitten werden (siehe Kapitel 7.2).

**Als Mindestgrösse für einen Feldblock wurden 25 Are festgelegt** (ausser bei Reben). Flächen, welche dieses Mindestmass unterschreiten, wurden eliminiert und somit von der Berechnung ausgeschlossen. Ebenfalls wurde versucht, extrem schmale Feldblöcke, welche durch den Verschnitt der verschiedenen thematischen Ebenen von Vector25 entstanden sind, zu eliminieren (nicht abschliessend).

Eine spezielle Situation ergibt sich an den Grenzen zur Bergzone III und an den Landesgrenzen. Feldblöcke enden nicht automatisch an diesen Grenzen, sondern gehen über diese hinaus. Soweit die benötigten Grundlagendaten aus diesen Grenzregionen vorhanden waren, wurde eine Berechnung mit AVErosion durchgeführt, ansonsten wurden die Feldblöcke abgeschnitten. In der nachfolgenden Tabelle und dem Diagramm auf der nächsten Seite wird ein Überblick der Feldblockkarte gegeben.

#### Statistik der Feldblöcke

Anzahl Feldblöcke	<b>180'920</b>
Fläche in ha	<b>905'876.88</b>
Fläche in km <sup>2</sup>	<b>9'058.77</b>
Min in ha *	0.25
Max in ha	1'444.38
Durchschnitt in ha	5.01
Standardabweichung	10.94
Median	2.36

Tabelle 3.1: Statistik der Feldblöcke. Die Tabelle zeigt die Eckdaten der Feldblöcke. Diese repräsentieren die für die ERK2 relevante landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) und somit auch das berechnete Gebiet. Quelle: eigene Darstellung

\* Die minimale Fläche bezieht sich auf die festgelegte Mindestgrösse der Feldblöcke von 25 Aren. Es gibt Feldblöcke der Klasse "Reben", welche diese Mindestgrösse unterschreiten. Diese wurden bei der Angabe des Minimums nicht berücksichtigt, bei allen anderen Werten schon.

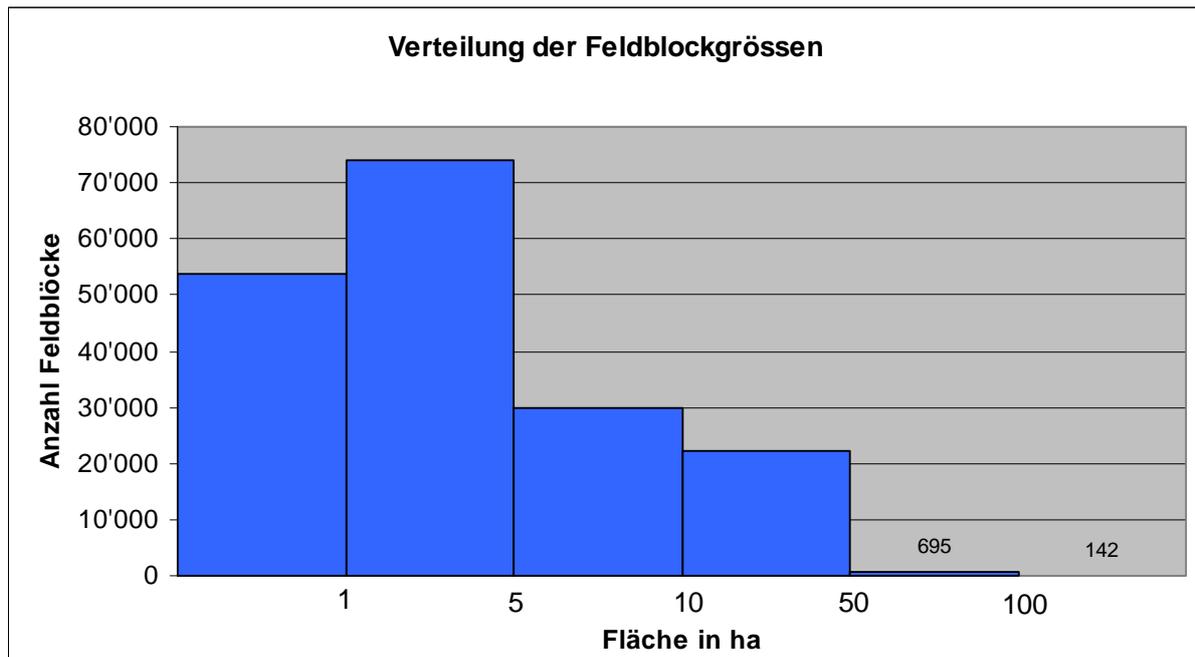


Abb. 3.8: Diagramm der Verteilung der Feldblockgrößen. Quelle: eigene Darstellung

### **3.2 Digitales Höhenmodell DTM-AV**

Das DTM-AV ist das Digitale Terrainmodell der Amtlichen Vermessung (swisstopo). Es wurde zwischen 2000 und 2007 mittels "Airborne Laser Scanning" (luftgestütztes Laser-scanning) erhoben.

Aus den Rohdaten (Punktdaten) wurde ein **Gittermodell mit 2x2 m Raster** interpoliert. Dieses DTM-AV GRID2 wurde in unserem Projekt verwendet.

**Die Genauigkeit liegt im offenen Gelände bei  $\pm 50$  cm** und im bebauten oder bewachsenen Gebiet bei  $\pm 150$  cm.

Das DTM-AV deckt die ganze Schweiz bis zu einer Höhe von 2000 m. ü. M. ab. Die Daten wurden als ASCII-Files pro LK50 Kartenblatt geordnet und dienen als Grundlage für die Berechnung des Erosionsrisikos und waren somit auch die Vorgabe für die Auflösung der resultierenden Karten (swisstopo 2007).

#### **3.2.1 Probleme mit dem digitalen Höhenmodell**

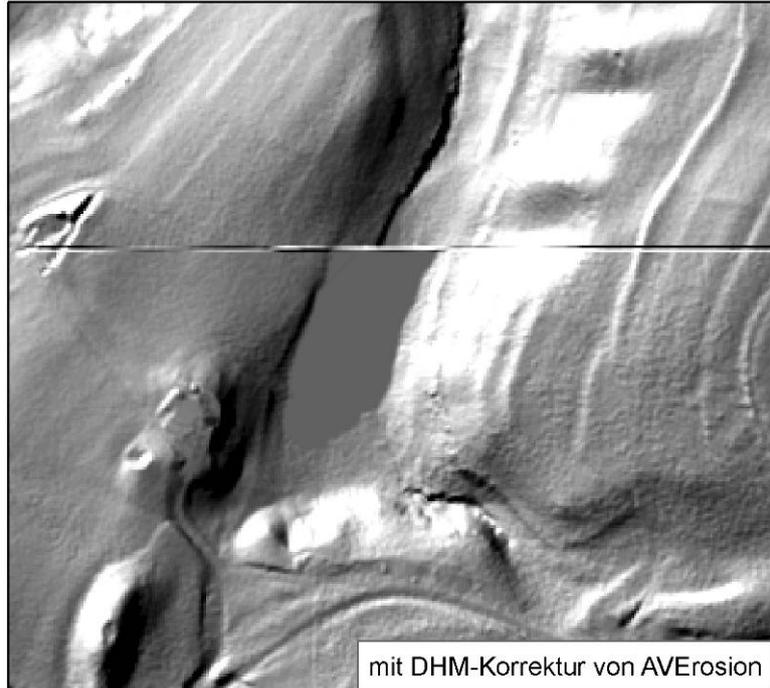
Das DTM-AV diente als Grundlage für die elementaren Faktoren S und L, sowie für den Erosionsschutzfaktor P, welcher bei der Berechnung des Erosionsrisikos eine untergeordnete Rolle spielt und hier nicht näher beschrieben wird. Das detaillierte Höhenmodell bietet die Möglichkeit, kleinräumige Erosionsstrukturen auf den Karten zu erkennen und zu lokalisieren.

Trotz der hohen Genauigkeit des DTM-AV gab es teilweise Probleme damit. Der Datensatz wurde bei der Swisstopo bestellt und in Kachelgrößen von 1/16 eines 1:25'000 Kartenblattes geliefert. Für eine bessere Handhabung wurden jeweils 16 solche Kacheln zu einem Kartenblatt mosaikiert. Bei ersten Tests mit dem Höhenmodell und den Erosionsberechnungen wurde festgestellt, dass es teilweise an solchen Kartenrändern, aber auch vereinzelt an Kartenrändern der 1/16 Kacheln, zu Unstimmigkeiten kam. Bei einer genaueren Analyse dieser Bereiche stellte sich heraus, dass vereinzelt die letzte Pixelreihe der einen Kachel nicht auf die erste Pixelreihe der nächsten Kachel abgestimmt war. Das heisst, es war kein fließender Übergang von einer zur nächsten Kachel vorhanden und es gab dadurch in diesem Bereich eine Art „Graben-“ oder „Dammstruktur“ (siehe Abb. 3.9). Diese Strukturen führten bei den Erosionsberechnungen zu einigen Problemen. Beim Berechnen der Erosion in AVErosion ist ein erster Schritt die Korrektur des Höhenmodells. Diese Korrektur stellt sicher, dass das Höhenmodell hydrologisch korrekt ist, also keine abflusslosen Senken mehr beinhaltet und das „virtuelle Wasser“ ungehindert entlang des Gefälles fließen kann. Dies geschieht einfach ausgedrückt dadurch, dass die Senken aufgefüllt werden und anschliessend ein minimales Gefälle durch sie hindurch gelegt wird.

Bei diesem Vorgang kommt es nun mit den angesprochenen Strukturen an einigen Kachelgrenzen zu Problemen. Entsteht z.B. durch die fehlerhaften Pixelreihen im Höhenmodell eine Art „Dammstruktur“, erkennt AVErosion diesen und beginnt den Bereich davor aufzufüllen, bis auf das Niveau des Damms. Es entsteht dabei ein „künstlicher Stausee“. Dieser hat dann wiederum Auswirkungen auf die Ergebnisse der Erosionsberechnungen (vgl. Abb. 3.9 und 3.10).

Eine zweite Möglichkeit eines Fehlers besteht im Falle einer „künstlichen Grabenstruktur“, geschaffen durch die fehlerhaften Pixelreihen im Höhenmodell. Diese wirken wie ein Kanal, welcher das Wasser sammelt und abführt, bis zu einem Punkt, der tiefer liegt als der Kanal und das „virtuelle Wasser“ wieder abfließen kann. Dieser Vorgang hat ebenfalls Auswirkungen auf die Berechnungen der Erosion (Abb. 3.11).

Die Kachelgrenze ist im Hillshade als Linienstruktur klar ersichtlich. Dadurch ergibt sich teilweise eine Art Damm, welcher bei der DHM-Korrektur zu der Bildung eines Stausees führt, da die abflusslose Senke aufgefüllt wird.



Bevor die DHM-Korrektur berechnet wurde, war der "Stausee" nicht vorhanden. Die Linienstruktur bei den Kachelgrenzen ist jedoch hier sehr deutlich zu sehen.

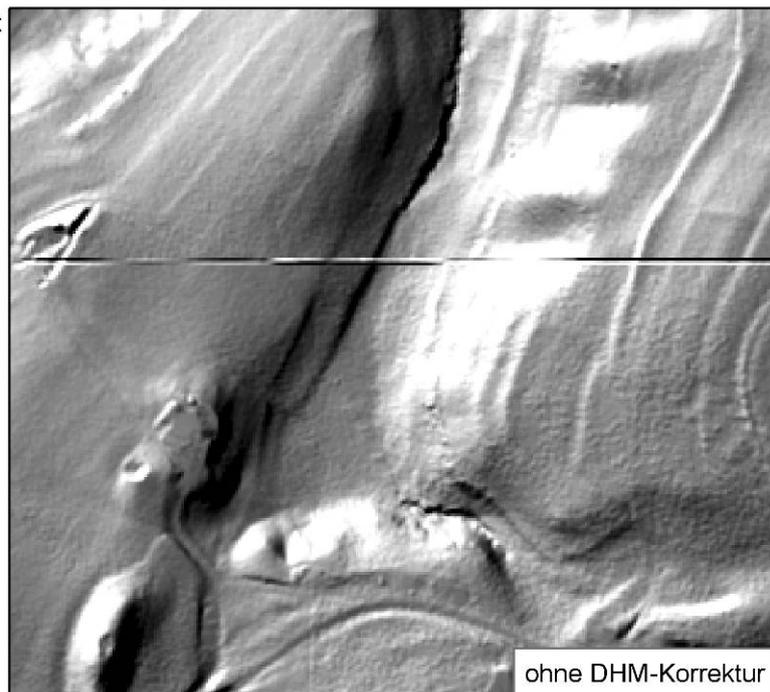
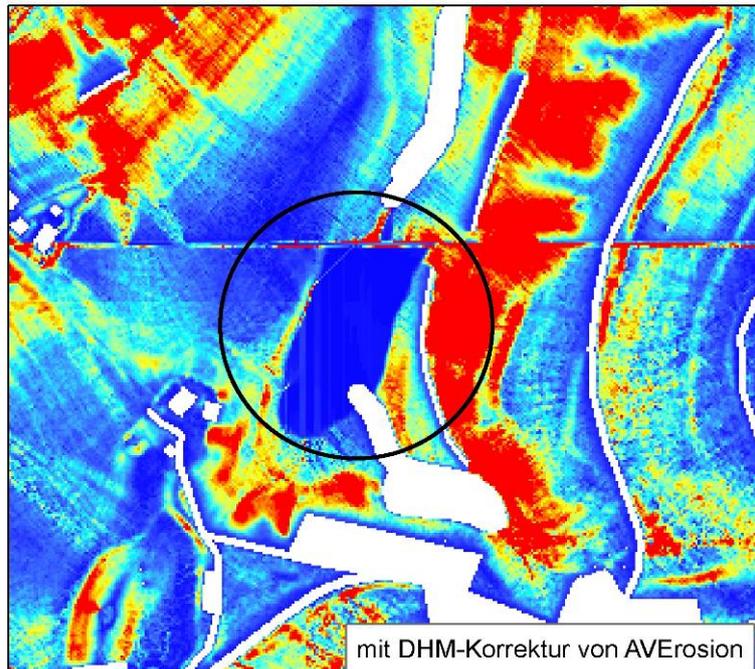


Abb. 3.9: Hillshade der Kartenblattgrenze 1204/1224 (LK25). Quelle: DTM-AV © swisstopo, eigene Darstellung.

Die Kachelgrenze ist in der Karte mit dem Erosionsrisiko ebenfalls klar ersichtlich. In diesem Bild sieht man die Auswirkungen des künstlichen Dammes, welcher bei der Kartengrenze entstanden ist. Bei der DHM-Korrektur führte dieser zu der Bildung eines Stausees, da die abflusslose Senke aufgefüllt wird. Da auf einer Ebene kaum mit Erosion zu rechnen ist, erscheint die Fläche in blau eingefärbt.



Dieses Bild zeigt die Berechnung des Erosionsrisikos ohne eine vorgängige Korrektur des DHM. Die Linienstruktur bei den Kachelgrenzen bleibt zwar erhalten jedoch verschwindet der künstliche Stausee.

**Erosionsrisiko**

Hoch

Niedrig

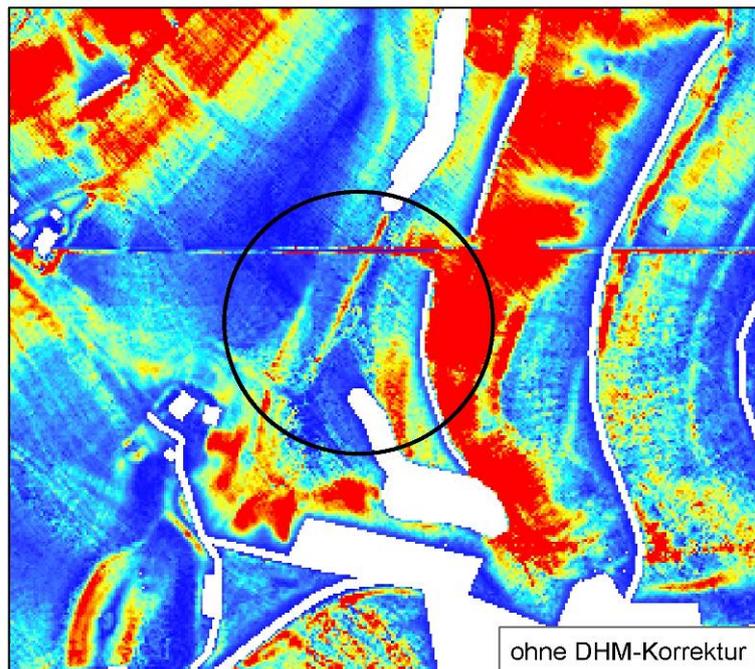


Abb. 3.10: Auswirkungen der fehlerhaften Kachelränder im DTM-AV auf die Erosion. Quelle: eigene Darstellung. Verwendet wurde: K- und R-Faktor (FRIEDLI 2006), DTM-AV © swisstopo.

Um diesen Problemen Rechnung zu tragen, wurde mit der Swisstopo Kontakt aufgenommen. Die Ursache der Unstimmigkeiten in einzelnen Kacheln rührt daher, dass während dem Herstellungsprozess verschiedene Firmen mit unterschiedlichen Gerätschaften die Arbeiten ausgeführt haben (Abb. 3.12). So treten solche Fehler vermehrt in Gebieten auf, wo sich zwei solche Etappen der Herstellung treffen. Eine weitere Fehlerquelle war der alte Workflow bei der Verarbeitung der Kacheln. Dieser konzentrierte sich zu stark auf die Stimmigkeit innerhalb eines Kartenblattes (LK25) und zu wenig auf die Übereinstimmung mit den angrenzenden Kartenblättern. Da einige der Fehler bereits bei der Aufnahme der Basiswerte für das Höhenmodell geschahen, da unterschiedliche Firmen und Geräte im Einsatz waren, können diese Fehler nicht mehr behoben werden. Jedoch konnte die Swisstopo die Daten soweit überarbeiten, dass die fehlerhaften Gebiete innerhalb der Kacheln minimiert werden konnten. Der ganze überarbeitete Datensatz wurde nochmals bestellt, diesmal auf der Basis von LK50 Kartenblättern. Es sei hier aber trotzdem darauf hingewiesen, dass es nach wie vor solche Unstimmigkeiten im DTM-AV hat und dass diese auch die Erosionsabschätzung beeinträchtigen. Falls bei der Betrachtung der Karten unsinnig erscheinende Linienstrukturen auftreten, wird es sich womöglich um solche Fehler im Höhenmodell handeln. Die Resultate in diesen Bereichen sind mit Vorsicht zu verwenden<sup>3</sup>.

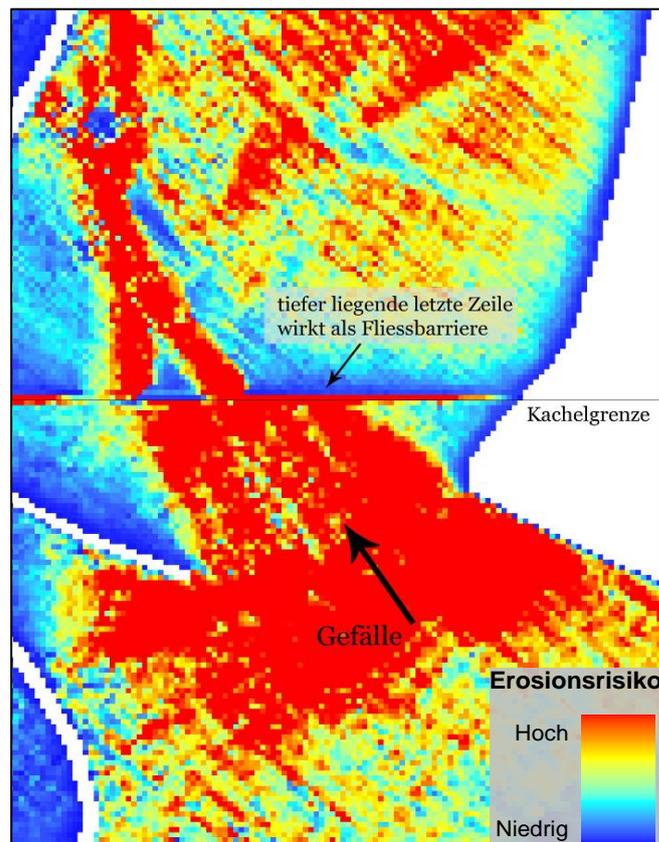


Abb. 3.11: Auswirkungen fehlerhafter Kachelgrenzen auf die Erosion. Quelle: eigene Darstellung

<sup>3</sup> Swisstopo ist im Moment an der Produktion eines neuen Höhenmodells, welches schweizweit ohne Kachelränder produziert wird. Dadurch werden wohl die meisten Probleme dieser Art in Zukunft gelöst werden können.

Will man für solche Flächen eine korrekte Modellierung mit AVErosion durchführen, muss man mit Swisstopo Kontakt aufnehmen und klären, ob es inzwischen bereinigte Daten gibt. Dann muss man mit AVErosion eine neue Berechnung – inklusive Korrektur des Höhenmodells, Kap. 3.2.2 – durchführen.

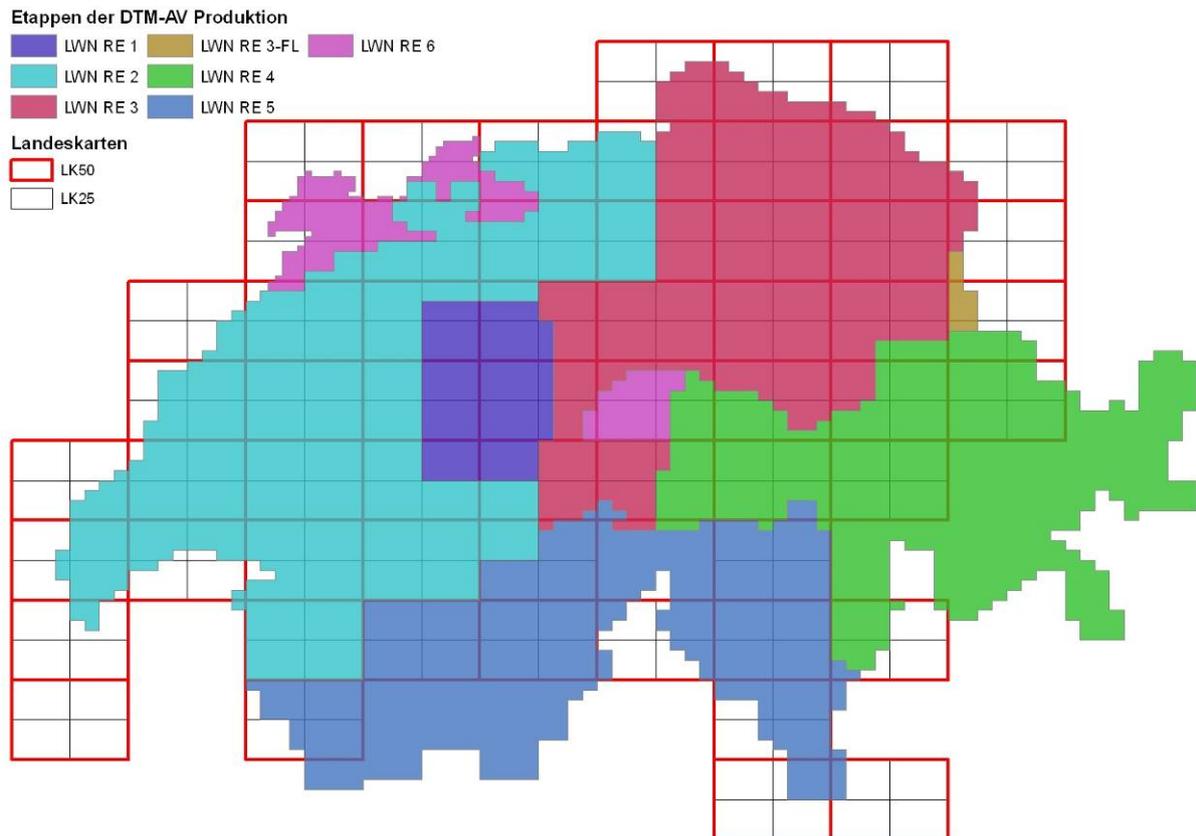
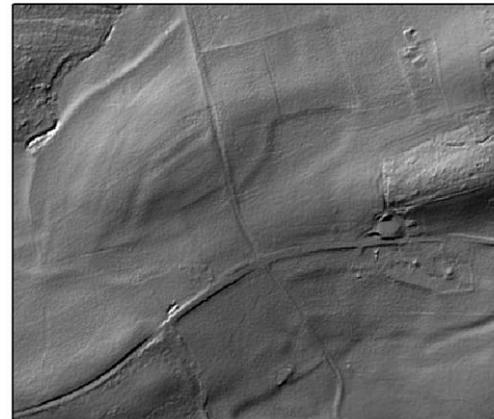
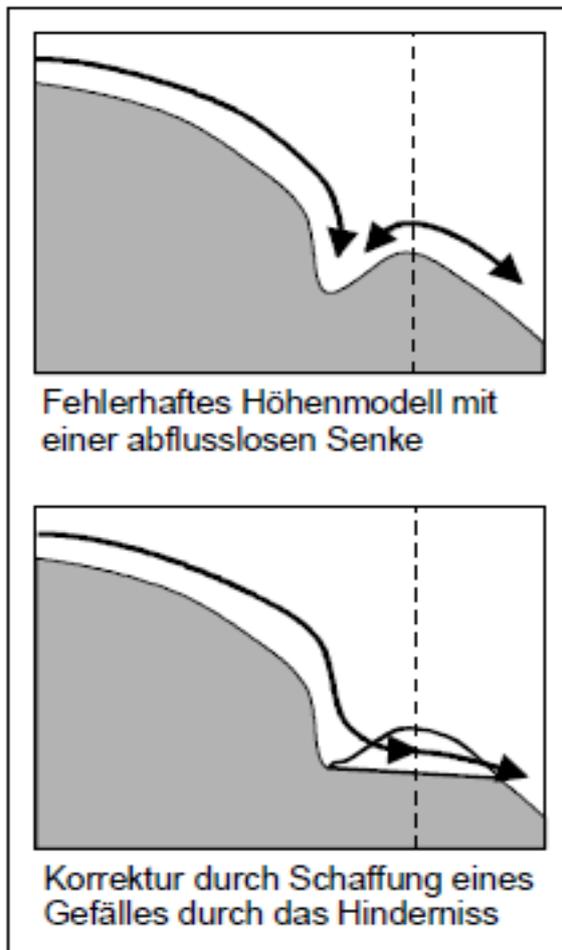


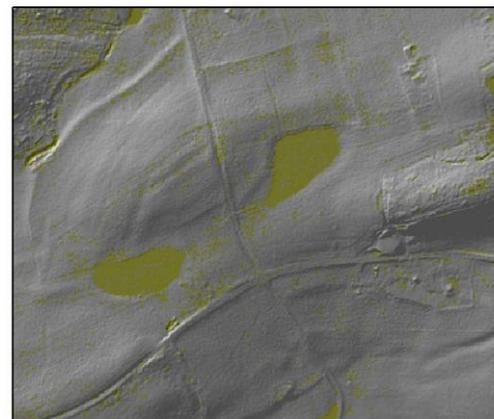
Abb. 3.12: Etappen der DTM-AV Produktion (LWN RE1, LWN RE 2, LWN RE 3, LWN RE 3-FL, LWN RE 4, LWN RE5, LWN RE 6). Hinterlegt sind die Kartenblätter der LK50 und LK25 im Berechnungsgebiet. Entlang der Etappengrenzen ist vermehrt mit Problemen zu rechnen, es können aber auch fehlerhafte Kacheln an Kartenblatträndern auftreten. Quelle: geodata © swisstopo, eigene Darstellung.

### 3.2.2 Korrektur Höhenmodell

AVErosion führt eine automatische Überprüfung bzw. Korrektur des digitalen Geländemodells durch. Diese Korrektur stellt sicher, dass das Höhenmodell hydrologisch korrekt ist, also keine abflusslosen Senken mehr beinhaltet und das „virtuelle Wasser“ ungehindert entlang des Gefälles fließen kann. Dies geschieht dadurch, dass die Senken aufgefüllt werden und anschliessend ein minimales Gefälle (max. 0,002%) durch sie hindurch gelegt wird (Abb. 3.13).



Hillshade von Kachel 242 4c ohne Korrektur



Hillshade von Kachel 242 4c mit DEM-Korrektur. Gelb: korrigierte Pixel

Abb. 3.13: Korrektur des Höhenmodells in AVErosion. Quelle: Links: Schäuble (2005), rechts: eigene Darstellung, mit Hillshade aus DTM-AV (swisstopo).

### **3.3 Bodendaten**

Der K-Faktor beschreibt die Erodierbarkeit bzw. die Erosionsanfälligkeit des Bodens (PRASUHN & GRÜNIG 2001). Diese hängt nach WISCHMEIER & SMITH (1978) von fünf Faktoren des Oberbodens ab:

- % Schluff und Feinstsand (0.002 – 0.1 mm)
- % Sand abzüglich Feinstsand (0.1 mm)
- % organischer Substanz (OS)
- Aggregatsklasse (A)
- Durchlässigkeitsklasse (D)

Um die aufgeführten Angaben für den jeweiligen Oberboden zu erhalten, bedarf es spezieller Bodenanalysen. Die benötigten Korngrössenklassen sind in der Schweiz nicht üblich, die benötigten Angaben zur Aggregatgrössenklasse und Durchlässigkeitsklasse werden ebenfalls nicht standardmässig erhoben. Entsprechend gibt es in der Schweiz nur einige wenige Analysenresultate zum K-Faktor. Die Daten aus der ÖLN-Bodenuntersuchung wären annäherungsweise zur Abschätzung der K-Faktoren auf Parzellen- bzw. Feldblockebene geeignet, liegen aber nicht digital vor. Deshalb musste ein behelfsmässiges Vorgehen gewählt werden und auf bestehende Datenquellen zurückgegriffen werden. Zum einen war dies die K-Faktorkarte von FRIEDLI (2006) und zum anderen waren dies einige detaillierte Bodenkarten von einzelnen Kantonen, aus welchen wichtige Informationen zur Bestimmung des K-Wertes gewonnen werden konnten. Im Folgenden werden die verschiedenen verwendeten Datensätze und Methoden kurz erläutert.

#### **3.3.1 Bodeneignungskarte 1:200'000 - FRIEDLI (2006)**

Als Grundlage für die K-Faktor-Rasterkarte diente die schweizweite K-Faktorkarte von FRIEDLI (2006). Diese Karte ist im Hektarraster über die ganze Schweiz verfügbar. Sie zeigt die Bodenerodierbarkeit der verschiedenen Bodentypen, eingeteilt in fünf K-Faktorklassen (s. Tabelle). **Die Grundlage dieser Karte bildet die digitale Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 BEK200**, ergänzt mit Bodenkarten 1:25'000. Aus den Beschreibungen dieser Karten wurden die Bodentypen anhand von Merkmalen wie „Skeletthalt“, „Formelement der Landschaft“, „Wassergehalt“ und Angaben zur Textur in verschiedene Klassen der Bodenerodierbarkeit eingeteilt. Diesen Klassen wurde dann jeweils ein mittlerer K-Faktorwert zugeteilt und dieser Wert bildete die Grundlage für die Rasterkarte. Diese zeigt ein K-Faktorspektrum von 0.15 – 0.55 (vgl. Tabelle 3.2). Weitere Informationen zur Herstellung der Karte und eine Abbildung finden sich in FRIEDLI (2006:32ff) und PRASUHN et al. (2010). Die zunächst nur qualitative Zuordnung in fünf Klassen erfolgte aufgrund von Beschreibungen der einzelnen Kartierungseinheiten in der zur Karte zugehörigen Attributtabelle und aufgrund von Expertenwissen. Die zur Modellberechnung notwendige Umwandlung in quantitative Werte ist unsicher und mit Vorsicht zu betrachten. Das gewählte Verfahren scheint dennoch berechtigt, da der K-Faktor innerhalb des Modells vergleichsweise wenig sensitiv ist. D.h. eine Veränderung in der Höhe des K-Faktors hat nur einen vergleichsweise kleinen Einfluss auf die berechnete Abtragsmenge. Die räumliche Auflösung der BEK200 ist in diesem kleinen Mass-

stab naturgemäss schlecht. So hat der aus der BEK200 abgeleitete K-Faktor auch die schlechteste Auflösung aller verwendeten Modellfaktoren. Da neben der geringen räumlichen Auflösung auch die quantitative Bestimmung aufgrund mangelhafter Datengrundlagen unsicher ist, weist der K-Faktor die grösste Unschärfe und Unsicherheit auf.

Qualitative Klasse	Wertebereich ( $\text{kg}\cdot\text{h}\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Mittelwert ( $\text{kg}\cdot\text{h}\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ )
sehr gering	0.11 – 0.20	0.15
gering	0.21 – 0.30	0.25
mittel	0.31 – 0.40	0.35
hoch	0.41 – 0.50	0.45
sehr hoch	0.51 – 0.60	0.55

Tabelle 3.2: Verwendete K-Faktoren für die Erosionsanfälligkeitsklassen. Quelle: nach FRIEDLI (2006)

### **3.3.2 Detaillierte Bodenkarten der Kantone**

Da der Informationsgehalt einer Karte im Massstab 1:200'000 die Realität stark abstrahiert, wurden für dieses Projekt weitere, ergänzende und detaillierte Bodenkarten gesucht. Einzelne Kantone haben Bodenkarten in Massstäben von 1:5'000 bis 1:50'000 in digitaler Form erstellt. Diese Karten durften nach Absprache mit den Kantonen für das Projekt verwendet werden. Um die Informationen aus den Karten in einen quantifizierbaren K-Faktor umzuwandeln, wurde folgendes Vorgehen gewählt:

In Deutschland regelt die DIN 19708, wie der K-Faktor aus Bodendaten zu bestimmen ist, ohne aufwändige Spezialanalysen durchführen zu müssen. Die Berechnung des K-Faktors beruht nach dieser Norm auf den Angaben zur Textur (Kb, Feinerdekörnung), Skelettgehalt (Ks) und Humusgehalt (Kh). Diese drei Faktoren werden miteinander multipliziert und ergeben als Resultat den Bodenerodierbarkeitsfaktor (K-Faktor) für einen bestimmten Boden ( $K = K_b \cdot K_h \cdot K_s$ ). Diese drei Angaben wurden in den digitalen Bodenkarten der Kantone gesucht, und mittels Wertetabellen aus der DIN 19708 wurden ihnen die entsprechenden Zahlenwerte zugeteilt.

#### Textur (Kb, Feinerdekörnung)

Die schweizerische Einteilung der Bodentextur teilt jeden Boden anhand seiner Zusammensetzung aus Ton, Schluff und Sand einer von 10 (ältere Bodenkarten) bzw. 13 Bodenartentypen zu. Die deutsche Einteilung ist wesentlich differenzierter und weist mit 40 wesentlich mehr Bodenartentypen auf (vgl. Tabelle 3.3, 3.4 und Abb. 3.14). Somit musste anhand des Körnungsverhältnisses (Anteil Ton, Schluff, Sand; Abb. 3.14) die Schweizer Einteilung mit der deutschen Einteilung annäherungsweise verbunden werden. Nun konnte aus den Tabellen der DIN 19708 für jeden der 10 bzw. 13 Bodentypen sein entsprechender Kb-Wert entnommen werden. Falls es Mischformen in den Bodenangaben gab (z.B. Lehm-sandiger Lehm) wurden die zwei Werte mit dem Verhältnis 60:40 verrechnet und der resultierende Zahlenwert übernommen. Der Kb-Wert dient als Ausgangslage für die Berechnung des K-Faktors und war die minimale Anforderung an die digitalen Bodenkarten. War dieser Wert nicht vorhanden, konnte die Karte nicht verwendet werden.

Bodenart	Kb	Bodenart	Kb	Bodenart	Kb	Bodenart	Kb
Ss	0,13	Uu	0,71	Lt2	0,26	Tu2	0,14
Su2	0,23	Us	0,63	Lt3	0,21	Tu3	0,32
Su3	0,35	Uls	0,50	Tu3	0,32	ffS	0,74
Su4	0,45	Ut2	0,61	Lts	0,15	fS	0,34
Slu	0,40	Ut3	0,56	Ts2	0,04	fSms	0,25
Sl2	0,21	Ut4	0,53	Ts3	0,06	fSgs	0,25
Sl3	0,26	Ls2	0,35	Ts4	0,08	mS	0,07
Sl4	0,24	Ls3	0,28	Tl	0,09	mSfs	0,16
St2	0,11	Ls4	0,19	Tt	0,02	mSgs	0,07
St3	0,10	Lu	0,41	Tu4	0,45	gS	0,07

Klassen der Feinerdekörnung

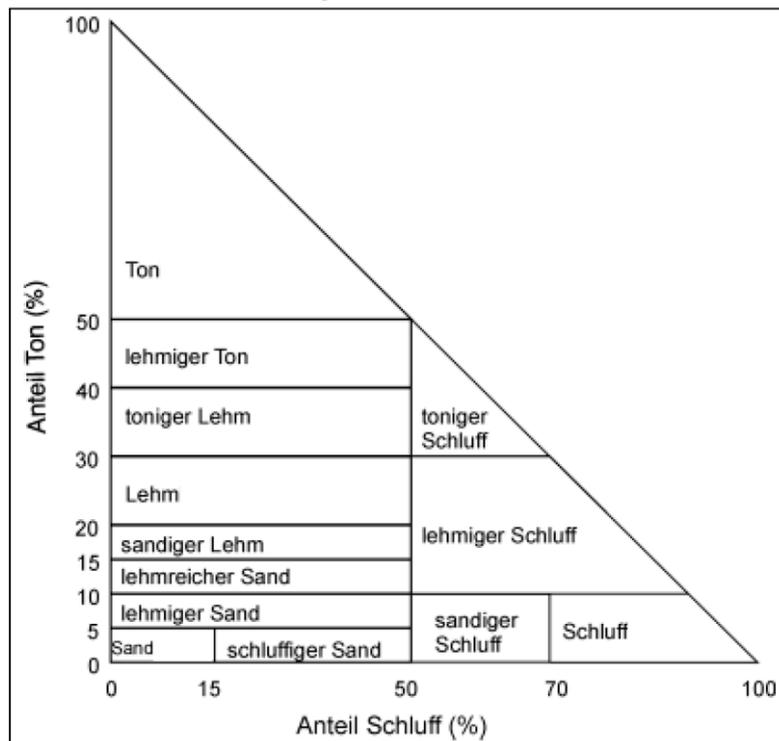


Abb. 3.14: Oben: Deutsche Einteilung der Bodenarten mit zugehörigen Kb-Werten (Quelle: DIN 19708, 2005). Unten: Klassen der Feinerdekörnung. Für diese 13 Klassen mussten anhand der Tabelle oben die K-Faktorwerte zugeteilt werden Quelle: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz. Klassifikation der Böden (2002).

Nr	Bodenart	Ton	Schluff	K-Faktor
9	T	>50	<50	0.06
8	IT	50-40	<50	0.09
1	S	<5	>15	0.13
3	IS	10-5	<50	0.18
7	tL	40-30	<50	0.20
4	IrS	15-10	<50	0.24
6	L	30-20	<50	0.25
13	tU	50-30	>50	0.25
5	sL	20-15	<50	0.30
2	uS	<5	15-50	0.35
12	IU	30-10	>50	0.50
10	sU	<10	50-70	0.60
11	U	<10	>70	0.70

Tabelle 3.3: Bodenart und zugehörige K-Faktorwerte analog zur DIN 19708. (V. Prasuhn, ART). Resultierende Zuteilung der K-Faktorwerte der ERK2 auf Grund der deutschen Zuteilung und der Schweizer Bodenklassierung.

### Skelettgehalt (Ks)

Ein ähnliches Vorgehen wie bei der Textur wurde auch beim Skelettgehalt angewendet. Der Skelettgehalt wird in den meisten Bodenarten der Kantone in 4 oder 10 Klassen eingeteilt (Tabelle 3.5). Diese Klassen basieren auf Angaben zum Volumenanteil in % des Grobbodenanteils. Somit lassen sich diese Klassen den Werten der DIN 19708 (Tabelle 3.4) zuweisen und der entsprechende Ks-Wert kann übernommen werden. Beim Ks-Wert handelt es sich um einen Korrekturfaktor, welcher anhand des Skelettgehalts eines Bodens dessen Bodenerodierbarkeit verstärkt oder verringert. Je höher der Skelettgehalt eines Bodens, desto geringer ist die Anfälligkeit des Bodens für Erosion durch Wasser und somit ist sein Ks-Wert umso tiefer. Mischformen aus zwei Klassen wurden hier ebenfalls mit der Gewichtung 60:40 (60% erste Klasse, 40% zweite Klasse) gemittelt.

Grobbodenanteil des Oberbodens		Grobbodenbedeckung Flächenanteil in %	Ks
Volumenanteil in %	Kurzzeichen		
< 2	x1, g1, gr1	< 2	1,00
2 bis < 10	x2, g2, gr2	2 bis < 10	0,87
10 bis < 25	x3, g3, gr3	10 bis < 25	0,64
25 bis > 50	x4, g4, gr4	25 bis > 50	0,39
50 bis < 75	x5, g5, gr5	50 bis < 75	0,19
>= 75	X, G, Gr	>= 75	0,10

Tabelle 3.4: Deutsche Einteilung des Skelettgehalts des Oberbodens. Diese Tabelle diente als Grundlage für die Einteilung der Angaben zum Skelettgehalt in den kantonalen Bodenarten. Quelle: DIN 19708 (2005).

Vol%	Code	Korrekturfaktor
<5	0	1
5-10	1	0.87
10-20	2	0.64
10-20	3	0.64
20-30	4	0.39
20-30	5	0.39
30-50	6	0.39
30-50	7	0.39
>50	8	0.19
>50	9	0.19

Tabelle 3.5: Skelettgehalt und zugehöriger Korrekturfaktor. Resultierender Skelettgehalt anhand der deutschen Einteilung nach DIN 19708. Quelle: V. Prasuhn, ART

### Humusgehalt (Kh)

Der Humusgehalt wird in den meisten Bodenkarten mit Zahlenwerten zum Massenanteil in % angegeben. Diese Angaben wurden analog zum Skelettgehalt mit den Werten aus der DIN 19708 (Tabelle 3.6) abgeglichen und die entsprechenden Kh-Werte zugeteilt. Der Kh-Wert ist ebenfalls ein Korrekturfaktor der aufgrund des Humusgehalts des Oberbodens den K-Faktor erhöht oder verringert.

Humusgehalt		Kh
Massenanteil in %	Kurzzeichen	
< 1	h1	1,15
1 bis < 2	h2	1,05
2 bis < 4	h3	0,90
4 bis $\geq$ 15	h4 bis h5	0,80
Anm.: Kh ist nicht definiert für Humusgehalte von $> 15$ % (h6 und h7)		

Tabelle 3.6: Deutsche Einteilung des Humusgehalts. Diese Tabelle diene als Grundlage für die Einteilung der Angaben zum Humusgehalt in den kantonalen Bodenkarten. Quelle: DIN 19708 (2005).

### 3.3.3 K-Faktorrasterkarte

Nachdem den Informationen aus der Bodenkarte die entsprechenden K-Werte über die DIN 19708 zugeteilt waren, wurden diese miteinander verrechnet ( $K = K_b * K_s * K_h$ ). Falls es Angaben zu Körnung, Skelett- und Humusgehalt für ein zweites Boden-Komplexglied gab, wurden diese Werte im Verhältnis von 60:40 mit dem ersten Komplexglied verrechnet, soweit nicht eine andere Gewichtung in der Bodenkarte angegeben war. Die K-Faktoren wurden dann über eine entsprechende Identifikationsnummer den einzelnen Polygonen der digitalen Bodenkarte zugeordnet und daraus wurde ein Raster mit 2x2m Auflösung erstellt. Die Genauigkeit der Karte basiert jedoch immer auf dem Ausgangsmassstab der verwendeten Bodenkarte. Nach dem dies für alle verfügbaren Bodenkarten gemacht war, wurde die Basiskarte für den K-Faktor von FRIEDLI (2006) mit diesen detaillierten, neu erarbeiteten K-Faktorkarten der einzelnen Kantone verschnitten. Daraus resultierte ein schweizweiter, lückenloser Daten-

satz für den K-Faktor, welcher überall die genauesten zur Verfügung stehenden Grundlagendaten verwendet.

In Abbildung 3.15 ist eine Übersicht der Bodendaten mit dem entsprechenden Massstab zu sehen. Überall dort, wo keine Bodendaten vorhanden sind, kommt die Basiskarte BEK200 zum Einsatz.

**Folgende Kantone lieferten Bodendaten (oft nicht flächendeckend):**

**1:5'000: AG, BL, BS, GL, LU, SO, ZG, ZH**

**1:10'000: LU, SG**

**1:25'000: LU**

**1:50'000: TG, GE**

Im Rhonetal (VS) existiert eine neue Bodenkarte, die für das Projekt aber noch nicht zur Verfügung gestellt werden konnte. Im Kanton VD existieren digitale Bodenkarten 1:25'000, die aber für das Projekt noch nicht in aufbereiteter Form geliefert werden konnten. In verschiedenen Kantonen existieren vereinzelt digitale Bodenkarte, die nicht vektorisiert sind oder nicht die benötigten Parameter in der zugehörigen Attributtabelle enthielten.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Gesamtfläche der Bodendaten der einzelnen Kantone mit zugehörigem Massstab, die entsprechende Fläche, welche innerhalb des von uns zu berechnenden Gebiets liegt (LN) und den Anteil an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche, welche im Projekt relevant ist. So zeigt sich, dass rund ein viertel der von uns berechneten Fläche durch kantonale Bodendaten abgedeckt wird und dort somit verbesserte Grundlagendaten gegenüber der Karte von FRIEDLI (2006) im Massstab 1:200'000 zur Verfügung stehen.

Kanton	Massstab	Fläche der Bodendaten	Fläche im Feldblockperimeter (LN*)		Anteil an gesamter LN** in %
		in ha	in ha	in km <sup>2</sup>	
AG	5'000	1'683	1'428	14.28	0.2
BL/BS	5'000	21'732	17'890	178.90	2.0
GL	5'000	990	990	9.91	0.1
LU	5'000	5'809	4'011	40.12	0.5
SO	5'000	18'473	9'020	90.20	1.0
ZG	5'000	10'580	8'782	87.82	1.0
ZH	5'000	76'058	64'080	640.80	7.2
<b>Total 5'000</b>		135'329	106'203	1'062.04	<b>12.0</b>
LU	10'000	4'611	3'925	39.26	0.4
SG	10'000	45'761	35'469	354.69	4.0
<b>Total 10'000</b>		50'373	39'395	393.95	<b>4.4</b>
LU	25'000	27'928	17'307	173.07	2.0
TG	50'000	66'087	44'396	443.97	5.0
GE	50'000	17'268	11'261	112.61	1.3
<b>Total 25'000 und 50'000</b>		111'284	72'965	729.66	<b>8.3</b>
<b>Total</b>		<b>296'987</b>	<b>218'564</b>	<b>2'185.65</b>	<b>24.7</b>
<b>Gesamte LN*</b>			<b>886'661</b>	<b>8'866.61</b>	

Tabelle 3.7: Statistische Auswertung der Bodendaten. Quelle: eigene Darstellung.

\*mit „LN“ ist die für dieses Projekt relevante landwirtschaftliche Nutzfläche gemeint.

\*\*Die Angaben sind ausgehend von der Fläche der Bodendaten in der LN berechnet.

## Detaillierte digitale Bodendaten der Schweiz

Masstab der  
detaillierten Bodenkarten

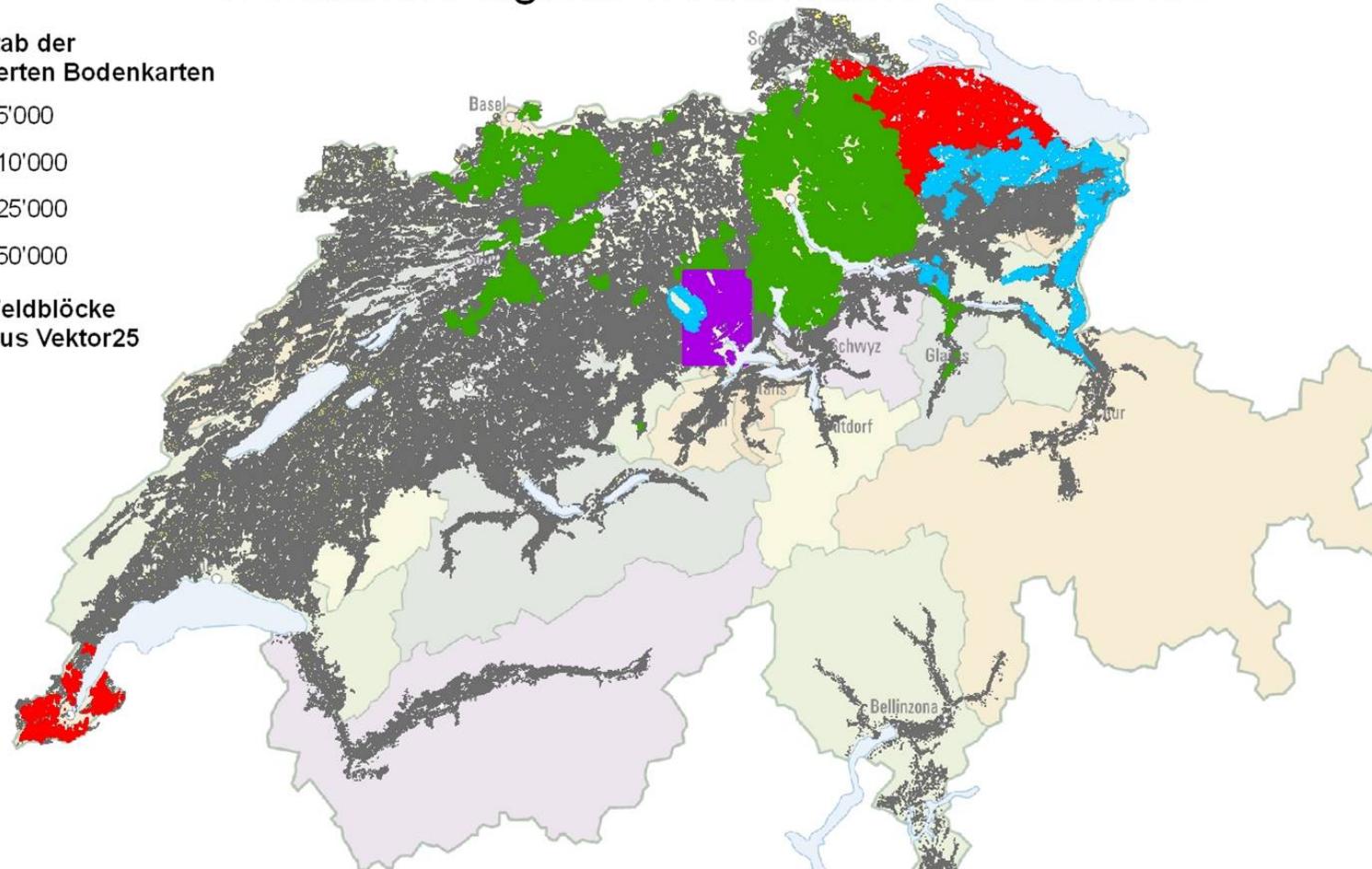


Abb. 3.15: Verfügbare digitale Bodendaten der Schweiz  
 - Grundlagenkarte mit Kantons Grenzen. © 2007 Bundesamt für Landestopografie.  
 - Feldblockkarte. Hergestellt durch Gisler (2010) aus der Vector25 Karte (swisstopo).  
 - K-Faktorkarten. Bodendaten der einzelnen Kantone. (siehe Tabelle 3.7).

## 4. RESULTATE

Als Ergebnis der Berechnungen mit AVErosion erhält man eine Karte, welche das potentielle Erosionsrisiko als langjährigen mittleren jährlichen Bodenabtrag in  $t/(ha \cdot a)$  darstellt. Die modellierten Werte sind durchwegs viel höher als in der Realität (ca. um Faktor 10), weil die Bodenbearbeitung und -bewirtschaftung (C-Faktor) ausgeklammert wurden und als Konstante mit dem Wert 1 in die Berechnung eingeflossen sind. Deshalb mussten Grenzen gefunden werden, um die Resultate klassieren zu können und verschiedene Grade der Gefährdung auszuweisen. In Deutschland bestehen durch die Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung (DirektZahlVerpflV) vom 4. November 2004 (letzte Änderung 20. April 2010) ([http://www.gesetze-im-internet.de/direktzahlverpflv/BJNR277800004.html - F07771814\\_03#F07771814\\_03](http://www.gesetze-im-internet.de/direktzahlverpflv/BJNR277800004.html - F07771814_03#F07771814_03)) im Rahmen von Cross-Compliance<sup>4</sup> Bestimmungen zum Schutz der Böden vor Erosion durch Wasser. Da in der Schweiz keine anderen wissenschaftlichen Grundlagen für solche Grenzen bestehen, wurden die deutschen Toleranzwerte für die Einteilung übernommen. Die Umsetzung der Verordnung ist seit 1. Juli 2010 in Kraft. Ein Beispiel einer solchen Umsetzung kann im Gesetzblatt (GBl Nr 9, 22. Juni 2010) über die Verordnung vom Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung und Verbraucherschutz zur Einteilung landwirtschaftlicher Flächen nach dem Grad der Erosionsgefährdung (Erosionsschutzverordnung – ErosionsSchV) vom 29. Mai 2010 im Bundesland Baden-Württemberg eingesehen werden.

Wassererosions- gefährdungsklasse	Bezeichnung	$K * S$ <sup>1)</sup>	$K * S * R$ <sup>2)</sup>	$K * S * R * L$ <sup>3)</sup>
1	2	3	4	5
CC <sub>Wasser1</sub>	Erosionsgefährdung	0,3 – < 0,55	15 – < 27,5	30 – < 55
CC <sub>Wasser2</sub>	hohe Erosions- gefährdung	$\geq 0,55$	$\geq 27,5$	$\geq 55$

Tabelle 4.1: Wassererosionsgefährdungsklassen in Deutschland. Quelle: DirektzahlVerpflV (20. April 2010), Anlage 1

- 1) Bestimmung der potenziellen (standortbedingten) Erosionsgefährdung durch Wasser in Anlehnung an DIN 19708 (Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG, DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Februar 2005). Die DIN-Methode ist zu beziehen beim Beuth Verlag Berlin.
- 2) Der Regenerositätsfaktor R kann optional verwendet werden. Er ist gemäß DIN 19708 Abschnitt 4.2 bzw. Tabelle C.1 gebietspezifisch zu ermitteln und anzuwenden.
- 3) Der Hanglängenfaktor L kann optional verwendet werden. Er ist gemäß DIN 19708 Abschnitt 4.5 standortspezifisch zu ermitteln und anzuwenden.

<sup>4</sup> „Die so genannte „Cross-Compliance“, auch Auflagenbindung genannt, ist ein Mechanismus, mit dem Direktzahlungen an Landwirte an die Erfüllung von Auflagen im Bereich Umweltschutz, Lebensmittelsicherheit, Tier- und Pflanzengesundheit und Tierschutz sowie den Erhalt der landwirtschaftlichen Nutzfläche in gutem Bewirtschaftungs- und Umweltzustand gebunden sind.“ (Europäische Kommission – Landwirtschaft und ländliche Entwicklung)

In der DirektzahlVerpflV (20. April 2010) werden in der Anlage 1 die Wassererosionsgefährdungsklassen ( $CC_{\text{Wasser}}$ ) behandelt und erläutert. Die Einteilung der Felder in die einzelnen Klassen erfolgt nach der Beurteilung des berechneten potentiellen Bodenabtrags. Je nach Verwendung der Faktoren Hangneigung (S), Hanglänge (L), Bodenerodierbarkeit (K) und Niederschlagserosivität (R) werden dort Toleranzwerte für eine Einteilung angegeben. Tabelle 4.1 gibt die Wassererosionsgefährdungsklassen ( $CC_{\text{Wasser}}$ ) wieder.

Die minimalen Anforderungen an eine Beurteilung zum vorhandenen Erosionsrisiko einer Fläche bestehen somit aus der Bodenerodierbarkeit (K-Faktor) und der Hangneigung (S-Faktor). Diese können durch den R-Faktor (Regenerosivität) und den L-Faktor (Hanglänge) noch ergänzt werden. Da im vorliegenden Projekt alle diese Faktoren erhoben wurden und zur Berechnung des Erosionsrisikos beitragen, wurde bei der Einteilung der Gefährdungsklasse die Werte der Spalte 5 in obiger Tabelle verwendet. Somit gilt für das Projekt ERK2 die Einteilung in Tabelle 4.2.

#### Einteilung Gefahrenstufen

<b>1</b>	<b>Keine Erosionsgefährdung</b>	<b>0 – 30</b>
<b>2</b>	<b>Erosionsgefährdung</b>	<b>30 – 55</b>
<b>3</b>	<b>Hohe Erosionsgefährdung</b>	<b>&gt; 55</b>

Tabelle 4.2: Einteilung der Gefährdungsstufe aus dem Produkt der Faktoren  $K*S*R*L$ . Quelle: eigene Darstellung nach DirektzahlVerpflV (20. April 2010), Anlage 1

#### Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz (ERK2)

Einen schweizweiten Überblick über das modellierte potentielle Erosionsrisiko der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz zeigen die Karten auf nachfolgenden Seiten (Abb. 4.1a und 4.1b). Die Abbildungen zeigen das Erosionsrisiko in 9 Klassen, eingeteilt nach dem berechneten langjährigen mittleren potentiellen Bodenabtrag in  $t/(ha*a)$ . Die Farbgebung wurde dabei an die oben definierten Klassen angepasst. So sind grüne Farbtöne der Gefahrenstufe 1, gelbe der Gefahrenstufe 2 und rote Farbtöne der Gefährdungsstufe 3 anzurechnen. Abbildung 4.1a zeigt die ERK2 für das Talgebiet (= Tal- und Hügelzone), Abbildung 4.1b für das Talgebiet und die Bergzonen 1 und 2.

	Offenes Ackerland (ha)	Kunstpflanzen (ha)	Reben (ha)	Total (ha)	Prozent von Gesamt
Tal- und Hügelzone	261'979	104'664	10'924	377'567	90
Bergzone 1+2	13'034	24'057	2'034	39'125	9
Bergzone 3+4	389	1'091	126	1'606	0,4
<b>Total</b>	<b>275'402</b>	<b>129'812</b>	<b>13'084</b>	<b>418'298</b>	

Tab. 4.3: Verteilung von Ackerland, Kunstpflanzen und Reben auf die landwirtschaftlichen Zonen im Jahr 2009. Quelle: SBV 2009

### **ERK2 für das Talgebiet (Tal- und Hügelzone)**

Die berechnete Fläche beschränkt sich in Abb. 4.1a auf die landwirtschaftliche Nutzfläche der Schweiz im Talgebiet, also abzüglich der Bergzonen I, II, III, IV und den Sömmerungsgebieten, sowie den Obstanlagen, dem Gartenbau und allfälligen Pufferstreifen. **Im Talgebiet befinden sich mit 377'567 ha rund 90% des Ackerlandes und der Rebflächen der Schweiz** (Tab. 4.3). Die gesamte berechnete Fläche in der ERK2 beläuft sich auf 606'715 ha<sup>5</sup>, d.h. rund 57% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz (1'055'684 ha). **Es sind aber nur rund 62% der auf der ERK2 (Talgebiet) dargestellten Fläche Ackerland und Reben, 38% sind Dauergrünland.** Bei Betrachtung der Karte wird erkennbar, dass sich ein grosser Teil der stark potentiell erosionsgefährdeten Flächen am Rand zur Bergzone befindet. Gerade hier ist mit einem vergleichsweise hohen Dauergrünlandanteil zu rechnen.

### **ERK2 für das Talgebiet inklusive Bergzonen 1 und 2**

Die berechnete Fläche in Abb. 4.1b umfasst zusätzlich zur Fläche in Abb. 4.1a 280'428 ha in den Bergzonen 1 und 2. **Hierbei handelt es sich überwiegend um Dauergrünland.** Nur 39'125 ha bzw. 14% davon sind Ackerland oder Reben (Tab. 4.3). Die gesamte berechnete Fläche in der ERK2 (inkl. Bergzonen 1 und 2) beläuft sich auf 886'661 ha, d.h. rund 84% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz (1'055'684 ha). **Es sind aber nur rund 47% (416'692 ha) der auf der ERK2 (inkl. Bergzonen 1 und 2) dargestellten Fläche Ackerland und Reben, 53% sind Dauergrünland.** Bei Betrachtung der Karte wird erkennbar, dass sich ein grosser Teil der stark potentiell erosionsgefährdeten Flächen in den Bergzonen 1 und 2 befindet. In der berechneten Fläche sind alle landwirtschaftlichen Nutzungen enthalten. Somit sind auch die Wies- und Weideflächen der Voralpen und des Juras berechnet worden. Da diese Gebiete in eher steileren Hanglagen liegen und dies im Modell höhere Bodenabträge zur Folge hat, sind die Regionen vorwiegend rötlich eingefärbt. Dies prägt die optische Aussage der Karte auf den ersten Blick. Die meisten Flächen in diesen Regionen werden aber dauerhaft bewachsen sein und somit in der Realität kein Problem bezüglich Erosion darstellen.

<sup>5</sup> Bei der statistischen Auswertung der Kantone (Abbildung 4.2) ergibt sich auf Grund der Umwandlung von Vektor zu Rasterdaten eine Änderung der analysierten Fläche auf 606'233 ha. Die relative Verteilung der Flächen wird dadurch aber nur minimal beeinflusst.

**Kantonale Statistik des Erosionsrisikos der LN des Talgebietes (ERK2)**

Die Abbildung 4.2 zeigt die Auswertung des potentiellen Erosionsrisikos anhand der drei Gefährdungsstufen auf kantonaler Ebene. Die berechnete Fläche, welche der Statistik zu Grunde liegt, ist wie bei der ERK2 die landwirtschaftliche Nutzfläche im Talgebiet, also abzüglich den Bergzonen I, II, III, IV und den Sömmerungsgebieten, sowie den Obstanlagen, gartenbaulich genutzten Flächen und Pufferstreifen. Die Grösse der Kuchendiagramme widerspiegelt die Fläche der LN pro Kanton. **Insgesamt wurden 56% der Flächen als nicht potentiell erosionsgefährdet eingestuft und 44% als potentiell erosionsgefährdet oder stark potentiell erosionsgefährdet.** Dabei muss berücksichtigt werden, dass

**a) sich die statistischen Auswertungen auf Rasterzellen von 2x2 m beziehen und nicht etwa auf ganze Feldblöcke oder Parzellen. Erst zusammenhängende Flächen zahlreicher potentiell erosionsgefährdeter Rasterzellen bilden ein reales Erosionsrisiko.**

**b) 38% der berechneten Flächen im Talgebiet Dauergrünland sind und damit real kein Erosionsrisiko aufweisen.**

Bei der kantonalen Auswertung fällt auf, dass die Kantone LU, AA, JU, AG und FR überproportional hohe Anteile potentiell erosionsgefährdeter Flächen haben. Bis auf AG grenzen diese Kantone häufig an die Bergzone, viele Flächen dürften daher Dauergrünland sein. Unterdurchschnittliches potentielles Erosionsrisiko zeigen die Kantone UR, GL, NW, OW, VS, GR, GE und TI. Dies sind überwiegend Kantone mit einem sehr geringen Ackerlandanteil, der sich in den Talebenen befindet.

## Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz (ERK2)

ohne Bergzonen und Sömmerungsgebiete

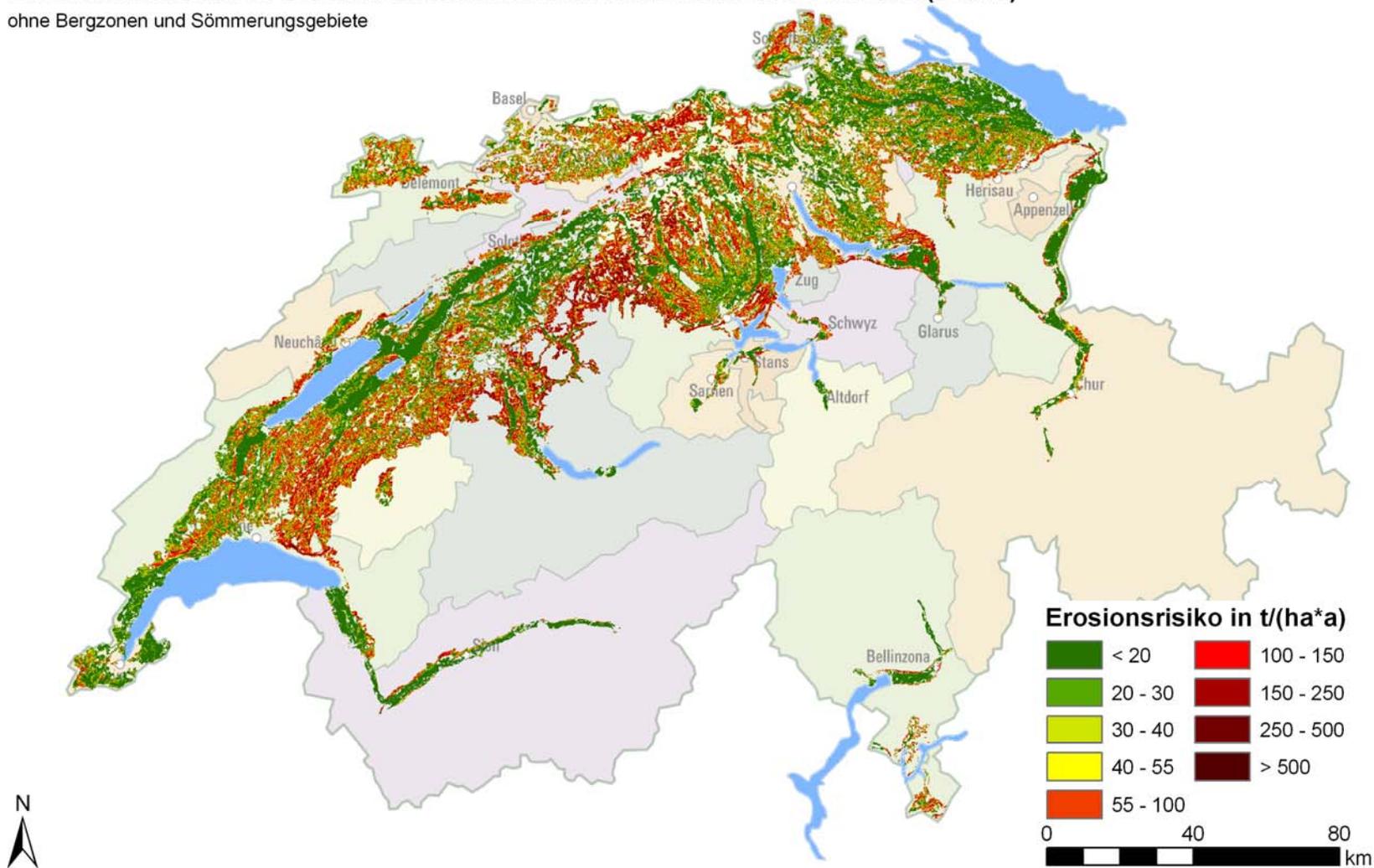


Abb. 4.1a: ERK2. Potentielles Erosionsrisiko (ohne Bewirtschaftung) für das Talgebiet. Quelle: eigene Darstellung, Hintergrund (swisstopo)

## Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz (ERK2)

ohne Bergzone III, IV und Sömmerungsgebiete

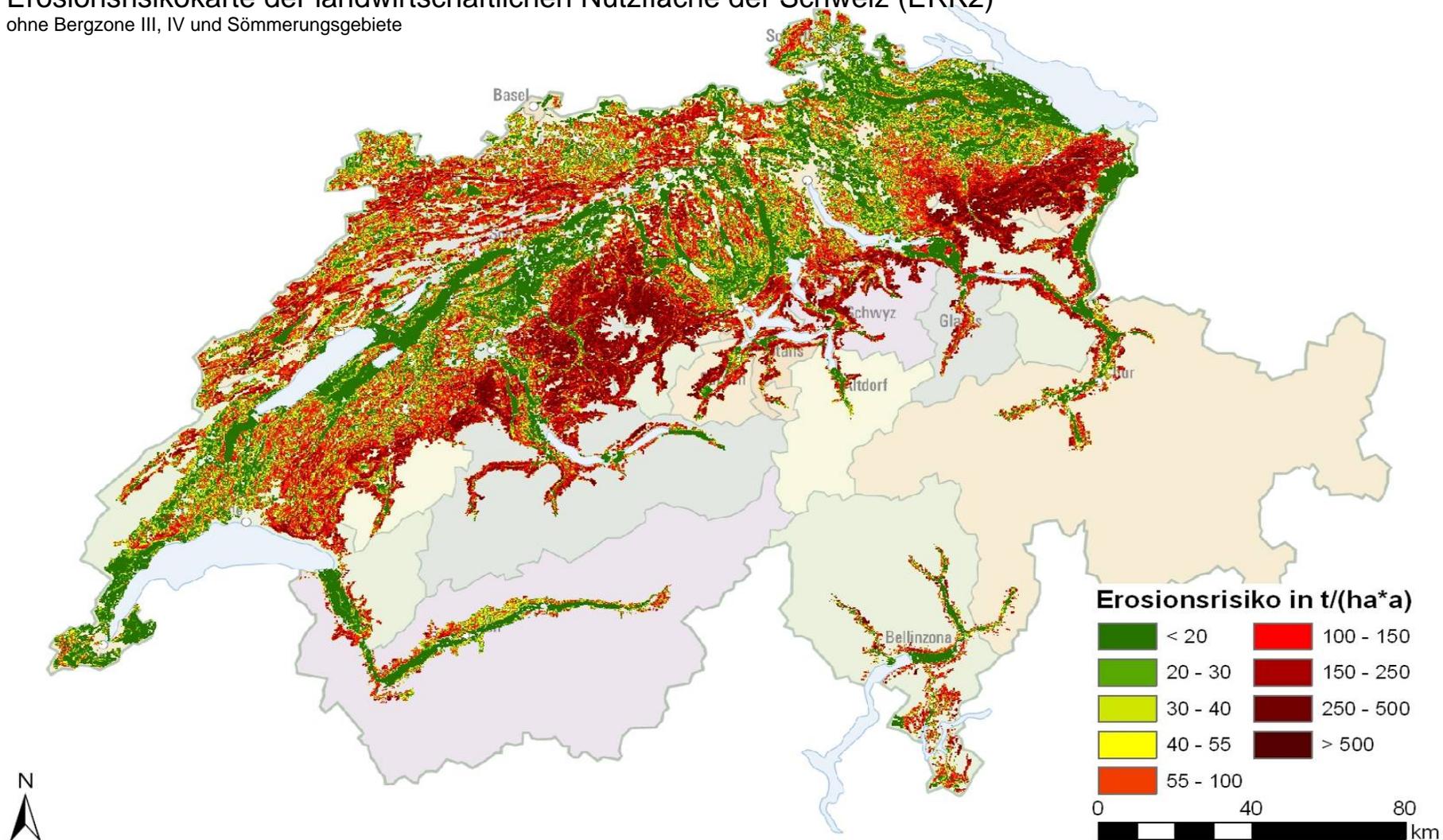


Abb. 4.1b: ERK2. Potentielles Erosionsrisiko (ohne Bewirtschaftung) für das Talgebiet und Bergzonen 1 und 2. Quelle: eigene Darstellung, Hintergrund (swisstopo)

## Kantonale Statistik des Erosionsrisikos in der LN (ERK2)

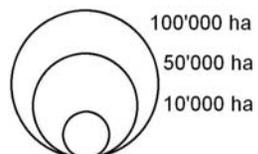
ohne Bergzonen und Sömmerungsgebiete

### Erosionsrisiko

keine Gefährdung

Gefährdung

starke Gefährdung



Fläche pro Kanton in der LN

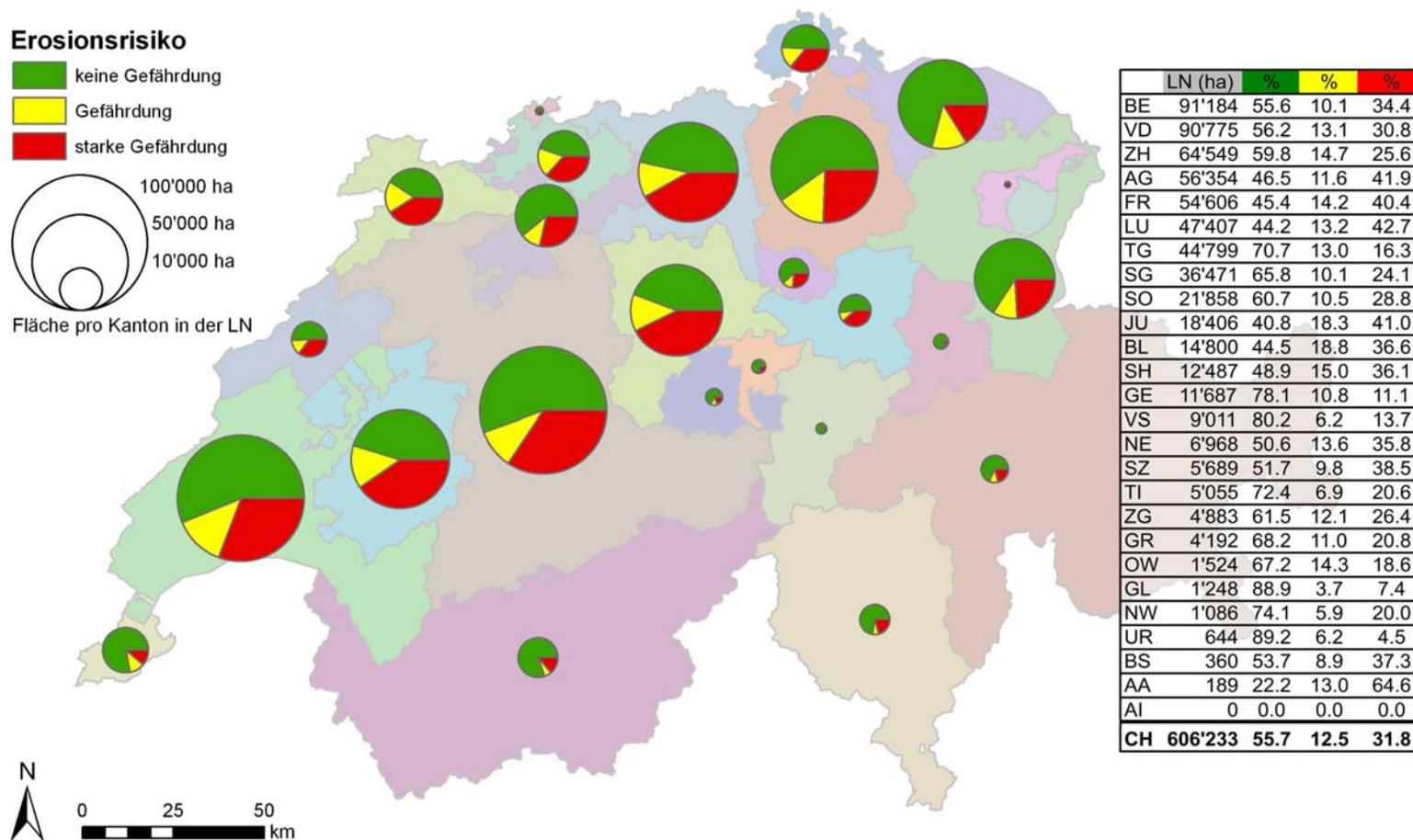


Abb. 4.2: Statistische Auswertung der Flächenanteile der Gefährdungsstufen des potentiellen Erosionsrisikos der Kantone für das Talgebiet. LN (ha) gibt die Fläche der LN (ohne Bergzonen I, II, III, IV und Sömmerungsgebiete) pro Kanton an. Bei der Umwandlung von Vektor zu Rasterdaten und der genauen Fläche der Kantone ergibt sich eine etwas geringere Gesamtfläche als in der ERK2 (606'233 ha anstatt 606'715 ha). Quelle: eigene Darstellung, Hintergrund (swisstopo).

## **4.1 Datenabgabe - Karten**

Als Endresultat werden folgende Datenlayer bzw. Karten abgegeben:

### Resultate

- |                   |   |
|-------------------|---|
| a) eros_z_XXX     | - Rasterdatensatz, welcher das Erosionsrisiko mit<br>genauen Zahlenwerten in $t/(ha \cdot a)$ darstellt |
| b) eros_z_XXX.lyr | - Verknüpfung zu eros_z_XXX, Layer-File mit<br>Klassen- und Farbeinteilung                              |
| c) rec_eros_XXX   | - Rasterdatensatz mit einer 3-teiligen Nominalskala<br>basierend auf den Werten von eros_z_XXX          |

### Grundlagendaten

- |           |                              |
|-----------|------------------------------|
| d) ln_XXX | - Feldblöcke im Rasterformat |
| e) k_XXX  | - K-Faktor                   |
| f) l_XXX  | - L-Faktor                   |
| g) r_XXX  | - R-Faktor                   |
| h) s_XXX  | - S-Faktor                   |

### Zusätzliche Daten

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| i) Feldblockkarte_CH              | - Shapefile mit allen Feldblöcken |
| j) Übersichtsplan_Eros_CH.jpg     | - Übersicht der LK50-Blätter      |
| k) Farbschema_Erosionskarte.style | - Farbschema für ERK2             |
| l) 9er_Einteilung.xml             | - Klassengrenzen für ERK2         |
| m) K_Faktor.breaks.xml            | - Klassengrenzen für K-Faktor     |

„xxx“ steht für die jeweilige Kachelnummer der LK50. Die Daten sind jeweils auf die Kachelblätter der LK50 zugeschnitten, wobei leichte Überlappungen der Ränder möglich sind (vermeiden des Verschnitts von Feldblöcken). Somit tritt an die Stelle von „xxx“ z.B. die Zahl „212“ usw. Eine Übersicht der vorhandenen Kartenblätter mit zusätzlicher Unterteilung in 1/16 Kartenblatt (LK50\_16) findet sich in der nachfolgenden Abbildung 4.3. Für jedes dieser Blätter sind die oben aufgeführten Daten vorhanden. Die Rasterdaten werden im Format ESRI GRID dem Bundesamt für Landwirtschaft übergeben und können dort bei Bedarf in andere Formate umgewandelt werden. Bei den „Zusätzlichen Daten“ handelt es sich um ergänzendes Datenmaterial für Darstellung und Analyse.

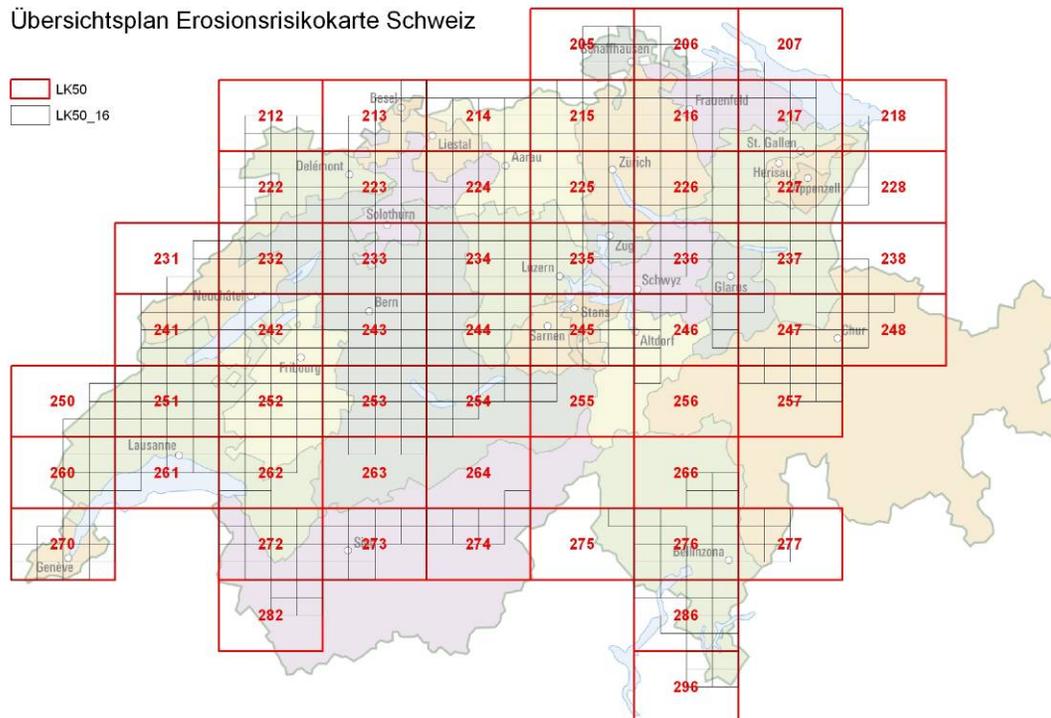


Abb. 4.3: Übersicht der Abdeckung des berechneten Gebiets. Für das gesamte dargestellte Gebiet liegen alle oben aufgelisteten Daten vor. Quelle: eigene Darstellung, Grundlage: Datenmaterial (swisstopo)

## **4.2 Beschreibung der einzelnen Rasterdatensätze**

### **4.2.1 Resultate**

#### **a) eros\_z\_xxx (ERK2 mit genauen Zahlenwerten)**

Die Rasterdatei „eros\_z\_xxx“ beinhaltet das eigentliche Endresultat der Berechnungen. Dieser Rasterdatensatz beinhaltet die Originaldaten der Erosionsberechnung pro Kartenblatt (LK50). Die Daten zeigen den potentiellen mittleren jährlichen Bodenabtrag in t/(ha\*a) auf Grund der gegebenen Standortfaktoren. Die Werte sind hier auf mehrere Kommastellen genau vorhanden. Es wird dem Anwender empfohlen, den nachfolgenden Datensatz zu verwenden.

#### **b) eros\_z\_xxx.lyr (ERK2 mit genauen Zahlenwerten, klassiert in 9 Klassen)**

Die Datei „eros\_z\_xxx.lyr“ (vgl. Abb. 4.4) ist eine Verknüpfung und gehört zu dem Datensatz eros\_z\_xxx. Sie kann an dessen Stelle geöffnet werden, um eine vorgeschlagene Einteilung in 9 Klassen und ein entsprechendes Farbschema zu erhalten. Bei der Einteilung der Klassen und dem Farbschema wurde darauf geachtet, dass die Grenzen der übernommenen deutschen Einteilung vorhanden sind und dass die entsprechenden Bereiche mit grünen, gelben und roten Farbtönen der Einteilung in die drei Gefährdungsstufen

entsprechen. Der Datensatz „eros\_z\_xxx“ bietet dem Benutzer die Möglichkeit, eine individuell anpassbare Einteilung vorzunehmen, da hinter den Klassen die Grundwerte vorhanden sind. Es wird jedoch dringend empfohlen, die vorgeschlagene Klassierung zu wählen. Eine Erläuterung zur individuellen Farbanpassung findet sich in Kap. 7.3.

**eros\_z\_xxx(.lyr)**

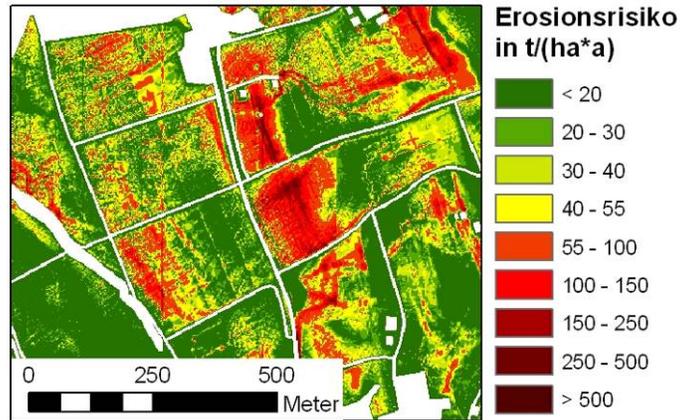


Abb. 4.4: Beispiel für „eros\_z\_xxx.lyr“. Quelle: eigene Darstellung

### **c) rec\_eros\_xxx (Klassifizierte ERK2, 3 Klassen, nominal Skala)**

Die Rasterdatei „rec\_eros\_xxx“ ist ein abgeleitetes Produkt von „eros\_z\_xxx“ und stellt eine Reklassifizierung (rec = reclassify) dieses Datensatzes dar. Dabei wurden, ausgehend von den originalen Zahlenwerten, 3 Klassen gebildet und die Daten als nominale Skala abgespeichert (vgl. Abb. 4.5). Hier sind nur noch die drei Gefährdungsstufen der deutschen Einteilung vorhanden.

**1 = keine Gefährdung**

**2 = potentielle Gefährdung**

**3 = hohe potentielle Gefährdung**

Die Umwandlung in einen „integer Raster“ ermöglicht es, im GIS einfache, zusätzliche statistische Auswertungen durchzuführen. So lassen sich z.B. über die Feldblockkarte\_CH mittels der Funktion „Tabulate Area“ (ArcGIS – ESRI) für jeden Feldblock die Verteilung der vorhandenen Pixel in den einzelnen Klassen berechnen. Daraus lassen sich z.B. Grenzwerte für den Vollzug für die jeweilige Raumeinheit ableiten (z.B. wenn >50% der Pixel in Klasse 1 oder 2 liegen, oder beliebige andere Verteilungen). Analog kann dies mit anderen Geometrien gemacht werden, z.B. Parzellenplan, Gemeindegrenzen, Kantonsgrenzen usw. Dieser Datensatz gibt also einen ersten Überblick der Flächen und ihres Gefahrenpotentials und bildet somit den Ausgangspunkt einer Beurteilung des Erosionsrisikos. Werden potentiell gefährdete Gebiete in ackerbaulich genutzten Zonen erkannt, so kann eine genauere Beurteilung der Lage über die Karte „eros\_z\_xxx“ vorge-

nommen werden. Dort können Strukturen, Fließwege und mögliche Massnahmen besser beurteilt werden.

**rec\_eros\_xxx**

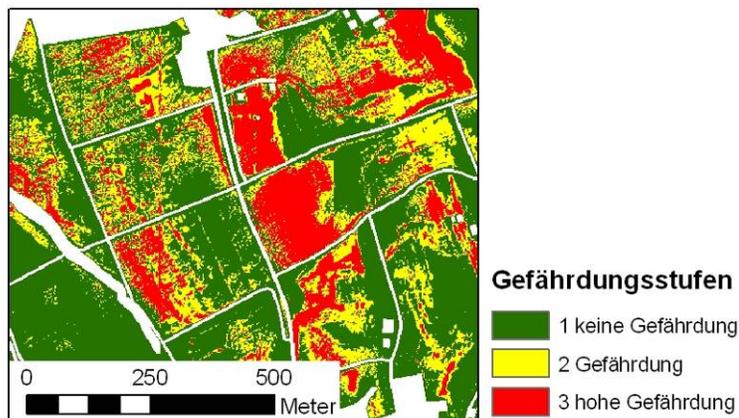


Abb. 4.5: Beispiel für „rec\_eros\_xxx“. Die Farbwahl und Legende ist ein Vorschlag und muss selbst eingestellt werden.  
Quelle: eigene Darstellung

#### **4.2.2 Grundlegendaten**

##### **d) In\_xxx (Feldblöcke im Rasterformat)**

Dieser Datensatz enthält die berechneten Feldblöcke pro LK50 Kartenblatt als Rasterdatei. Anhand dieser Datei lassen sich z.B. auch statistische Auswertungen zusammen mit „rec\_eros\_xxx“ machen oder er kann in ein Shapefile umgewandelt werden, um einen schnellen Zugriff auf die Feldblöcke zu bekommen. Die Feldblöcke enthalten hier aber keine weiteren Informationen. Die Karte zeigt jedoch, welche Feldblöcke im vorliegenden Kartenblatt enthalten sind (wichtig bei Feldblöcken, welche den Kartenblattrand überlappen). Um Informationen über die Art der Primärfläche oder Fläche eines Feldblocks zu bekommen und die Möglichkeit zu haben mit ausgewählten Feldblöcken zu arbeiten, empfiehlt sich die Verwendung der Feldblockkarte\_CH (vgl. Kapitel 4.2.3. i).

##### **In\_xxx – Landwirtschaftliche Nutzfläche**

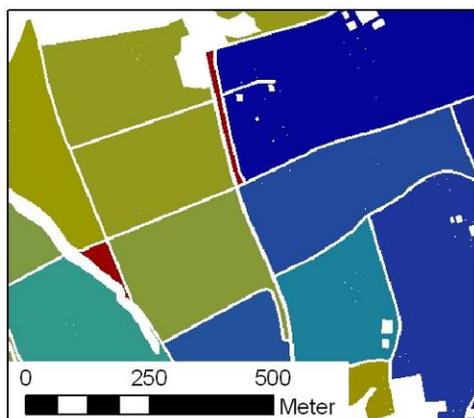


Abb. 4.6: Beispiel für „In\_xxx“. Die Farbwahl ist nur ein Vorschlag und dient lediglich zur Unterscheidung der einzelnen Feldblöcke. Quelle: eigene Darstellung

**e-h) K-, R-, L- und S-Faktor**

Die vier weiteren Datensätze sind die wichtigsten Faktoren der Berechnung des Erosionsrisikos. K- und R-Faktor wurden als Datensätze vorgängig erstellt, während S- und L-Faktor aus dem DTM-AV im Lauf der Berechnung mit AVErosion hergeleitet wurden. Diese Datensätze dienen der weiteren Analyse des Erosionsrisikos und lassen Rückschlüsse auf dessen genaue Ursache zu. Somit helfen sie auch bei der Planung allfälliger Massnahmen. Aus ihnen kann man ablesen, welcher der Faktoren hauptverantwortlich für ein erhöhtes Risiko in einem bestimmten Gebiet ist.

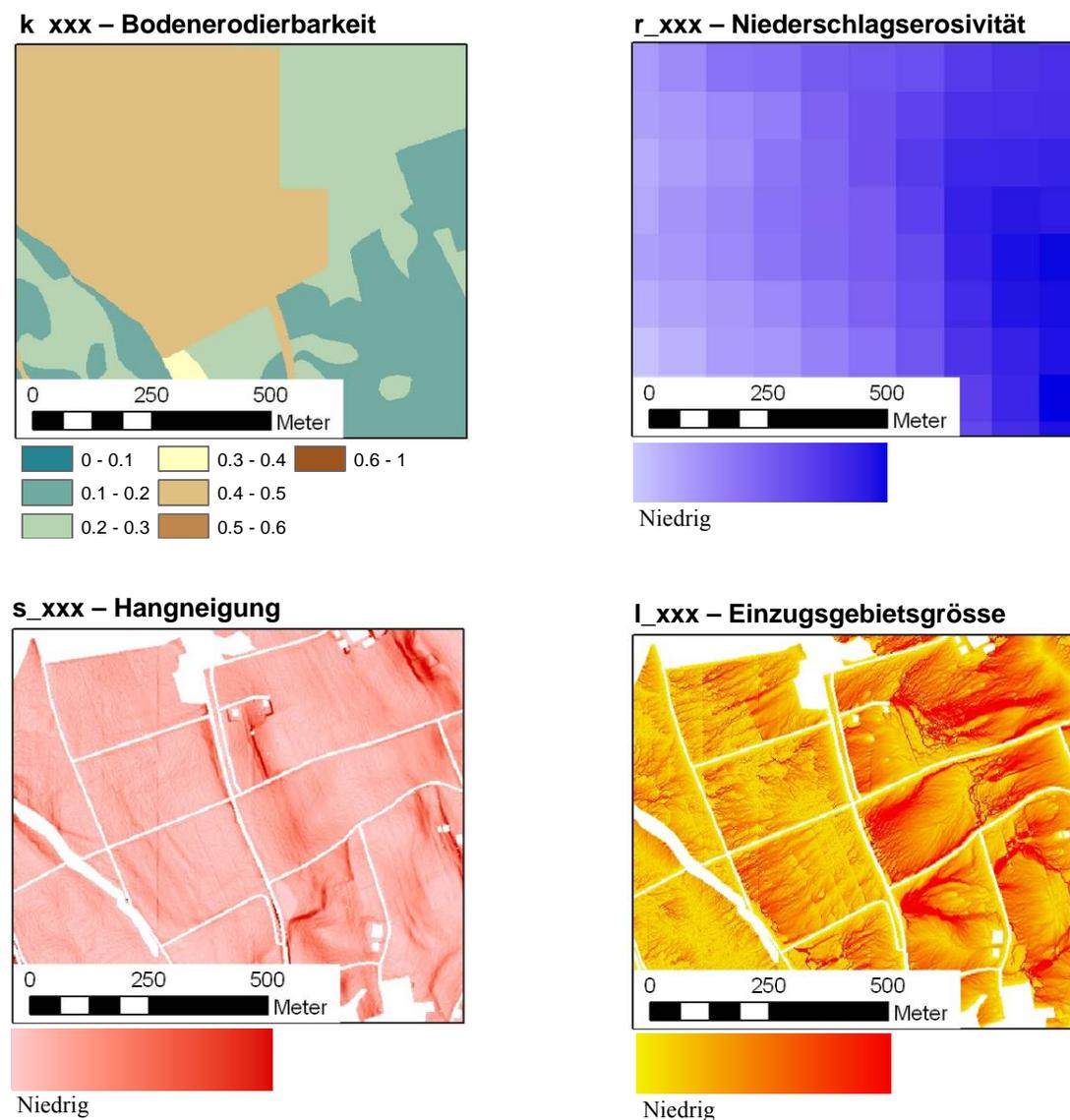


Abb. 4.7: Beispielhafte Darstellung der Faktoren K (Bodenerodierbarkeit), R (Niederschlagserosivität), S (Hangneigung) und L (Einzugsgebietsgrösse, Hanglänge). Die Abbildungen zeigen jeweils den gleichen Ausschnitt wie schon in den Abbildungen 4.4 – 4.6 weiter oben. Die Farbgebung und Skalierung ist ein Vorschlag und muss selbst eingerichtet werden. Quelle: eigene Darstellung.

Die Datensätze von R- und K-Faktor ( $r_{xxx}$  und  $k_{xxx}$ ) wurden im Grenzgebiet auf die Ausdehnung des DTM-AV interpoliert, damit die Daten übereinstimmend sind. Das heisst, wo Daten zum digitalen Terrainmodell vorhanden waren, aber der K- oder R-Faktor fehlten, wurden diese Daten mittels der Interpolationsmethode „natural Neighbour“ modelliert. Dies geschah lediglich in einzelnen Grenzgebieten und sollte für die Berechnung des Erosionsrisikos keine grosse Rolle spielen. Der limitierende Datensatz für die Ausdehnung ist somit das DTM-AV.

Diese Datensätze ermöglichen weiterhin auch eine neue Berechnung des Erosionsrisikos auf Grund veränderter Ausgangsdaten. Hat ein Kanton oder eine Gemeinde z.B. neue Bodendaten für ihr Gebiet, so können diese mit den bestehenden Daten ausgetauscht werden. Zu diesem Zweck muss man die Bodendaten in den K-Faktor umrechnen und auf das gleiche Gebiet und Auflösung zuschneiden, wie der vorhandene K-Faktor. Dann wird der Raster „eros\_z\_xxx“ (oder ein Ausschnitt davon) durch den original K-Faktor dividiert und mit dem neuen K-Faktor multipliziert. So erhält man das Erosionsrisiko auf Grund der neuen Bodendaten. Auf gleiche Weise kann man auch den R-Faktor verändern. Gibt es jedoch Änderungen in der Geometrie der Feldblöcke (z.B. Aufhebung oder Neuanlegung von Wegen, Strassen, Hecken etc.) müsste eine neue Berechnung mit AVErosion durchgeführt werden, da dies Auswirkungen auf den S- und L-Faktor nach sich ziehen würde. Solche Änderungen müssten im Raster „ln\_xxx“ geändert werden.

### **4.2.3 Zusätzliche Daten**

#### **i) Feldblockkarte CH (Shapefile mit allen Feldblöcken)**

Die Feldblockkarte beinhaltet die über 180'000 berechneten Feldblöcke im Gebiet der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz. Es gibt in der Attributtabelle eine Spalte „OBJECTVAL“, diese beinhaltet die Bezeichnung der Vector25 Karte für die zugrunde liegende Primärfläche (Z\_Uebrig, Z\_Reben). In einer zweiten Spalte „Area“ finden sich die Flächenwerte für jedes Polygon. Die Kategorie „OBJECTVAL“ ermöglicht es, z.B. nur diejenigen Feldblöcke zu markieren, welche als Reben ausgewiesen sind. Legt man die markierten Feldblöcke nun über die ERK2, kann man das spezifische Erosionsrisiko in Rebparzellen sehen. Die grosse Anzahl an Feldblöcken insgesamt macht den Datensatz in der Handhabung etwas träge, es empfiehlt sich daher ihn vorgängig auf das zu bearbeitende Gebiet zuzuschneiden<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Dies kann z.B. mittels der Funktion „Select“ (ArcGIS – ESRI) und entsprechender Selektion gemacht werden.

### **j) Übersichtsplan Eros CH.jpg**

Die Bilddatei zeigt eine Übersicht der vorhandenen Daten und kann zur Lokalisierung der relevanten Kartenblätter verwendet werden. Das relevante Gebiet kann auf dem Übersichtsplan gesucht werden und somit kann eingesehen werden, welche Kartenblätter gebraucht werden. So kann man gezielt die gewünschten Daten finden und öffnen.

### **k, l) Farbschema Erosionskarte.style und 9er Einteilung.xml**

Diese zwei Dateien dienen der Darstellung des Rasters „eros\_z\_xxx“ nach vorgeschlagener 9er-Einteilung und Farbschema. Das Vorgehen, um diese Darstellung manuell (ohne „eros\_z\_xxx.lyr Datei) zu erstellen (ArcMap 9.3 – ESRI):

- Fügen sie den gewünschten Raster „eros\_z\_xxx“ in ArcMap ein
  - Gehen sie zu Tools/Styles/Style Manager...
  - Klicken sie auf Styles/Add...
  - Navigieren sie zum Ordner Farbschema und wählen sie die Datei „Farbschema\_Erosionskarte.style aus (Open)
  - Im nächsten Fenster „Close“
  - Doppelklick oder Rechtsklick („Properties“) auf Layer „eros\_z\_xxx“
  - Wählen sie den Tab „Symbology“
  - Klicken sie auf Classified (dauert einen Moment um dies zu laden)
  - Rechtsklick im Bereich Symbol, Range und Label
  - „Load Class Breaks“
  - Navigieren sie zum Ordner „Farbschema“ und wählen sie die Datei 9er\_Einteilung.xml aus (Open)
  - Wählen sie im Drop-Down Menü „Color Ramp“ das folgende Farbschema (9 Farben von grün zu rot) aus
- 
- OK

Nun erscheint das Raster „eros\_z\_xxx“ in der Einteilung mit 9 Klassen und dem vorgeschlagenen Farbschema. Um weiteren Layern diese Farbgebung zuzuweisen, kann dieses im Bereich „Symbology“ des gewünschten Layers über „Import“ von einem schon angepassten Layer übernommen werden. Dies erspart die erneute Suche nach der Klasseneinteilung und dem Farbschema.

Der Ordner Farbschema oder die Dateien „Farbschema\_Erosionskarte.style“ und „9er\_Einteilung.xml“ stehen zur Verfügung.

**m) K\_Faktor.breaks.xml (Klassengrenzen für K-Faktor)**

Diese Datei kann analog zu „9er\_Einteilung.xml“ für das K-Faktorraster verwendet werden. Sie stellt eine Klasseneinteilung für die Rasterdateien „k\_fak\_xxx“ zur Verfügung. Das Vorgehen ist gleich wie unter Punkt k, l) erklärt, jedoch wurde kein separates Farbschema dazu gemacht. Es kann also ein vorgegebenes Farbschema ausgewählt werden. Auch hier gilt, die Einteilung in die Klassen soll als Vorschlag angesehen werden und kann je nach Wunsch individuell angepasst werden. Die Einteilung und ein beispielhaftes Farbschema sind in Abbildung 4.7 (links oben) ersichtlich.

## 5. VALIDIERUNG UND PLAUSIBILITÄTSTESTS

### 5.1 Validierung

Eine Validierung des verwendeten Modells AVErosion ist nur für die aktuelle Erosion möglich, in dem die berechneten Abtragswerte mit langjährigen Messwerten verglichen werden. Die potentielle Erosionsgefährdung kann dagegen nicht validiert werden, ein potentielles Risiko kann nicht mit Messwerten überprüft werden, weil die aktuelle Bewirtschaftung darin nicht enthalten ist. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass, wenn die aktuelle Erosion korrekt modelliert wird, auch das potentielle Erosionsrisiko richtig eingeschätzt wird, da dies ja eine Vorstufe der aktuellen Erosion ist.

Die Validierung des Modells AVErosion erfolgte mit den 10-jährigen Erosionsschadenskartierdaten vom Frienisberg (PRASUHN 2010). GISLER (2009) hat mit AVErosion für alle 203 Parzellen am Frienisberg mit bestmöglichen Eingangsdaten die Erosion modelliert. Er hat dazu parzellenscharfe Daten zum K-Faktor sowie zum C-Faktor von Felderhebungen durch PRASUHN verwenden können. Die Ergebnisse wurden mit den mittleren kartierten Bodenabträgen über 10 Jahre verglichen. Insgesamt ergibt sich eine befriedigende Übereinstimmung. Von den 14 Parzellen, deren kartierter Bodenabtrag im Mittel zu hoch ( $>2$  t/ha) war, wurden 11 auch als gefährdet mit AVErosion klassiert. Bei den drei Parzellen, welchen im Modell eine geringe Gefährdung zugewiesen wurde, führte ein Einzelereignis bei ungünstiger Bewirtschaftung zum kartierten Erosionsereignis.

Von den 16 Parzellen, die gemäss AVErosion die höchsten Abträge haben sollten, haben 12 tatsächlich hohe Erosion in den 10 Jahren gehabt. Unter Berücksichtigung der Limitierungen des Modells (siehe Kapitel 1.4) sowie der zwar langen, aber immer noch zu kurzen Messreihe (20 Jahre wären eigentlich notwendig) fällt der Vergleich insgesamt gut aus. Auch die Feldbeobachtungen bestätigen die Modellergebnisse. **Vor allem Geländemulden mit Talwegerosion werden vom Modell sehr gut abgebildet.** CHISHOLM (2008) hat entsprechende Beispiele zusammengestellt.

Auch in den Gebieten Estavayer le Lac und Oberaargau, in denen von LEDERMANN et al. (2008, 2010) zweijährige Erosionsschadenskartierungen durchgeführt wurden, stimmen die kartierten Erosionsschäden – vor allem Talwege – gut mit den Modellergebnissen überein. Auch hierzu hat CHISHOLM (2008) entsprechende Beispiele (Foto mit Erosionsschaden – modellierte Erosionsgefährdung) zusammengestellt.

Weiterhin wurden im Projekt „Kartierung der Beitragenden Flächen“ (EAWAG/ART) auf vier Betrieben bzw. Betriebsgemeinschaften (Meikirch, Ossingen, Baldegg, Orges) das Erosionsrisiko mit AVErosion modelliert und die Ergebnisse im Feld mit den Betriebsleitern diskutiert. Die Betriebsleiter haben die Modellergebnisse bestätigt, d.h. die Parzellen, die im Modell als erosionsgefährdet klassiert wurden, haben in der Realität auch ein erhöhtes Risiko.

## 5.2 Plausibilitätstests

Neben der vorgängig beschriebenen Validierung des verwendeten Modells wurden auch verschiedene Plausibilitätstests durchgeführt, um die Aussagen unserer Karte zu bekräftigen. Dazu wurde die ERK2 (oder Ausschnitte davon) mit bestehenden Erosionsrisikokarten verglichen. Dabei ging es in erster Linie um einen optischen Vergleich, da mit verschiedenen Grundlagendaten und Methoden gearbeitet wurde und ein detaillierter Vergleich der Datenwerte somit nicht realisierbar war. So war z.B. die Auflösung der verschiedenen Karten durch Verwendung unterschiedlicher Höhenmodelle nicht übereinstimmend. Wie sich dieser Unterschied auf das modellierte Erosionsrisiko auswirkt, zeigt folgende Abbildung.

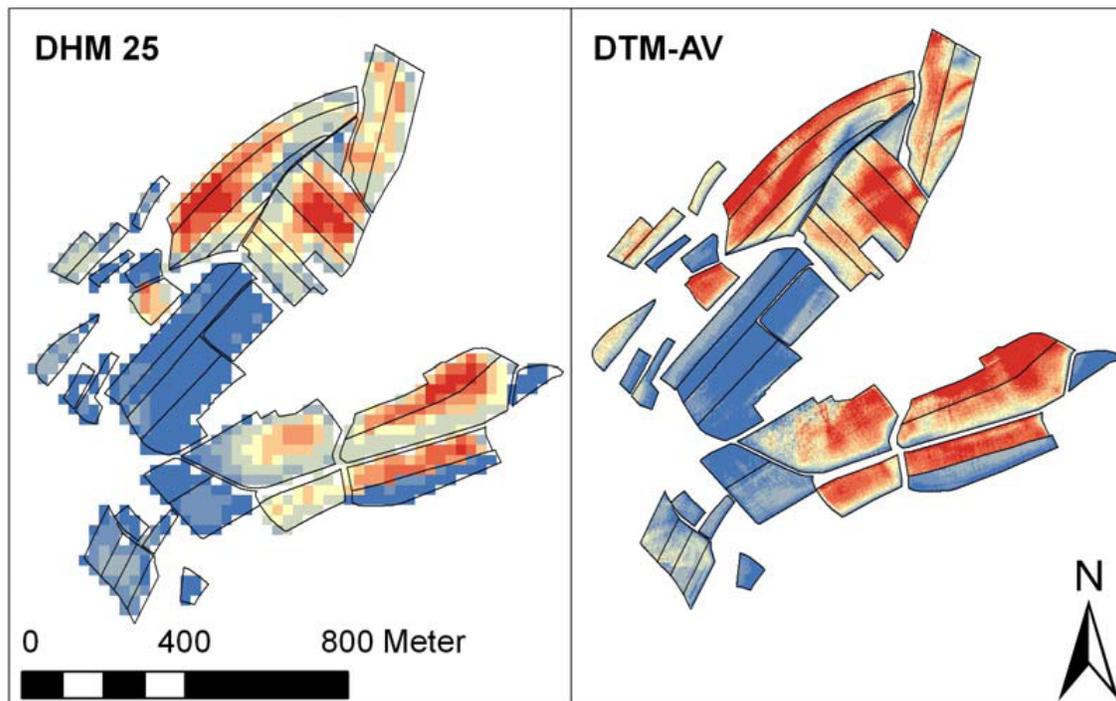


Abb. 5.1: Gegenüberstellung zwei verschiedener Auflösungen. Die Abbildung zeigt die zellenbezogene Darstellung des Erosionsrisikos in zwei Auflösungen. Links: DHM25 (swisstopo) 25x25m, Rechts: DTM-AV (swisstopo) 2x2m. Quelle: GISLER (2009)

Eine unterschiedliche Auflösung erschwert einen direkten Vergleich der Datenwerte, lässt aber einen optischen Vergleich trotzdem zu. Zudem waren auch die jeweils verwendeten Verfahren und Modelle nicht identisch, was zu weiteren Schwierigkeiten bei einer direkten Gegenüberstellung der Zahlenwerte führt. Bei einigen Karten wurde der Ansatz der USLE (Universal Soil Loss Equation) für die Modellierung gewählt, während in diesem Projekt eine modifizierte Version davon, die MUSLE87 verwendet wurde (vgl. Kapitel 2.1). Die daraus entstehenden Unterschiede werden am Beispiel des L-Faktors (erosive Hanglänge, Einzugsgebietsgröße) in folgender Abbildung (5.2) dargestellt.

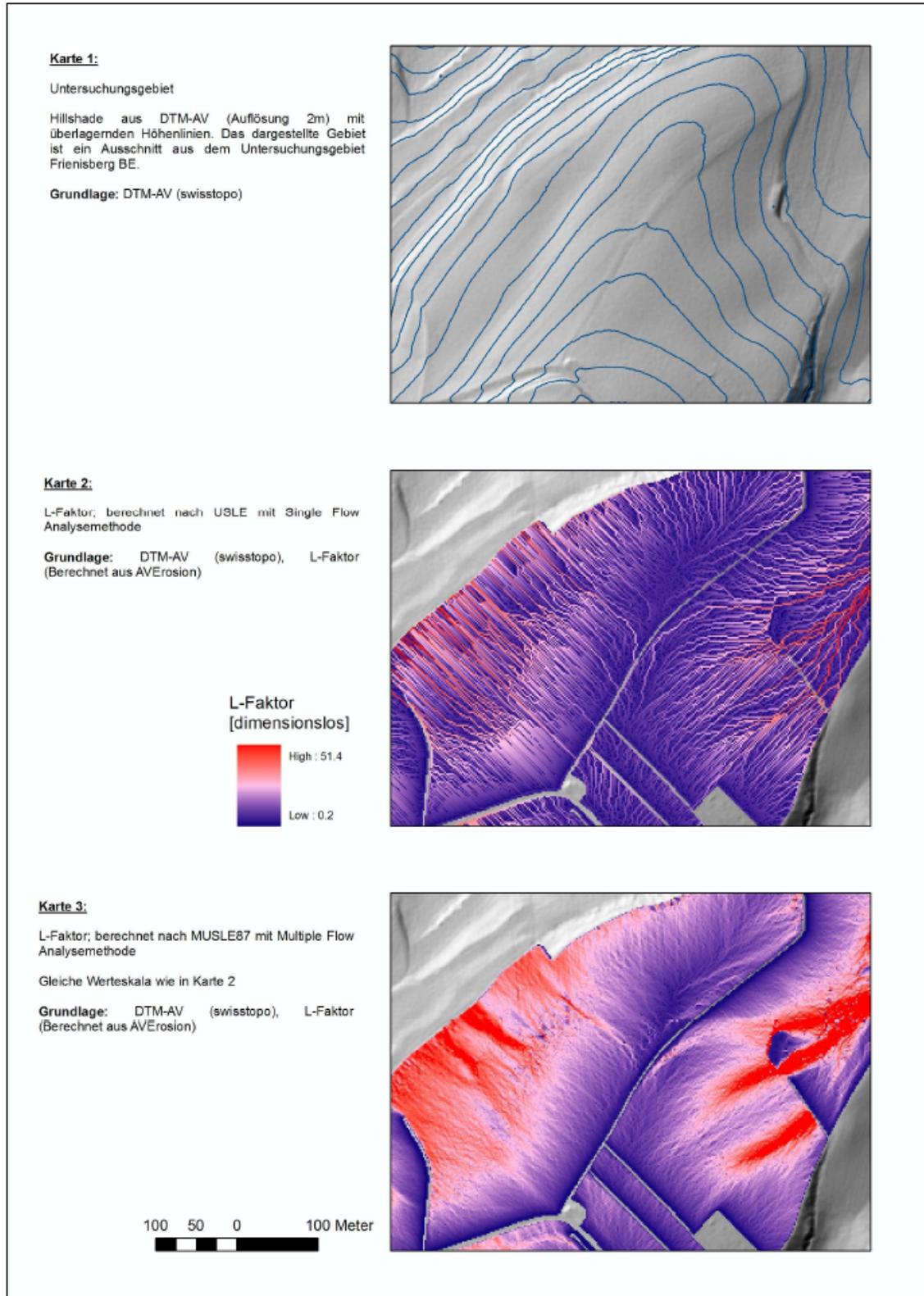


Abb. 5.2: Ergebnisse nach verschiedenen Fließberechnungsmethoden mit einem hochauflösenden DHM. Die Abbildung zeigt die Unterschiede zwischen dem Single-Flow Algorithmus der USLE und dem Multiple-Flow Algorithmus der MUSLE87. Quelle: CHISHOLM (2008)

Die Klassierungen der verschiedenen Karten gingen von Gefährdungsstufen, über Wahrscheinlichkeiten für solche, bis hin zur Angabe eines langjährigen mittleren Bodenabtrags in  $t/(ha \cdot a)$ . Dies liess weiterhin einen direkten Vergleich nicht zu. Um die Karten dennoch zumindest visuell vergleichen zu können, wurde versucht, über Anpassungen bei den Darstellungsoptionen und Klasseneinteilungen ähnliche Abstufungen der Karten zu erzielen. Hierbei ging es vordergründig um den Erkenntnisgewinn, ob die bestehenden Karten mit der ERK2 Gemeinsamkeiten aufweisen. Es wurde dabei untersucht, ob Gebiete mit ähnlich einzuschätzender Gefährdung bei beiden Karten am selben Ort lokalisiert sind. Dies würde die Aussagen der ERK2 unter Verwendung verschiedener Quellen unterstützen und die Plausibilität der ERK2 zeigen.

Als gesamtschweizerischen Vergleich wurde die ERK2 mit der Bodengefährdungskarte der Schweiz von FRIEDLI (2006) verglichen. Hierbei ging es um einen groben optischen Vergleich der zwei Karten. Danach wurden Vergleichsgebiete mit bestehenden Erosionsrisikokarten im Massstab 1:25'000 der Kantone Solothurn, Luzern und Genf betrachtet (RÜTTIMANN et al. 2004, 2005a, b). Des Weiteren wurden die Gebiete Avenches (VD) und Boiron de Morges (VD) verglichen. Dort sind Erosionsrisikoabschätzungen mit einem anderen Ansatz gemacht worden. Im Folgenden werden ausgewählte Kartenausschnitte präsentiert, welche diese Vergleiche dokumentieren.

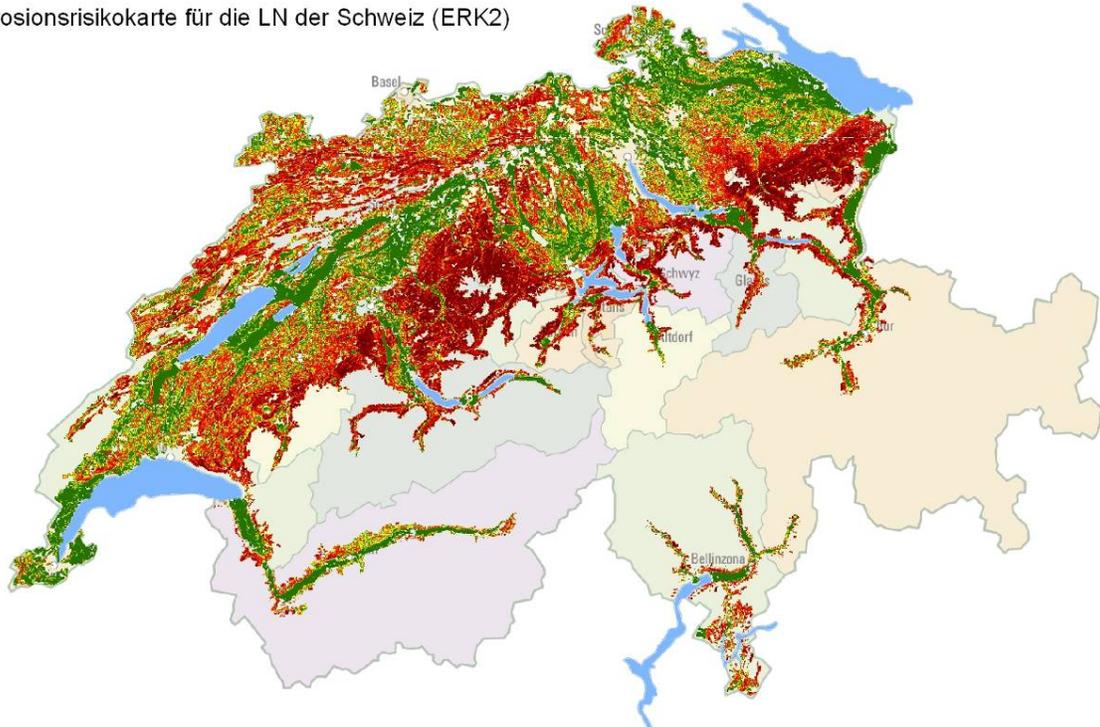
### **5.2.1 Vergleich der ERK2 mit der Bodengefährdungskarte Schweiz (FRIEDLI 2006)**

Der Vergleich in nachfolgender Abbildung zeigt die zwei Erosionsrisikokarten ERK2 (2010) (Abb. 5.3, oben) und die Bodenerosionsgefährdungskarte der Schweiz (FRIEDLI 2006) (Abb. 5.3, unten). Die Karte von FRIEDLI wurde im Hektarraster berechnet und für die Gesamtfläche der Schweiz erstellt und zusätzlich nur für das potentielle Ackerland. Die in Abbildung 5.3 (unten) dargestellte Karte zeigt die Resultate von FRIEDLI auf dem Berechnungsgebiet der ERK2 (landwirtschaftliche Nutzfläche abzüglich Bergzonen III, IV und Sömmerungsgebiete). Die dargestellten Erosionsabschätzungen entsprechen in beiden Karten dem potentiellen Erosionsrisiko. Unterschiede in der Herstellung der beiden Karten ergeben sich in der methodischen Vorgehensweise und dem verwendeten Datenmaterial (siehe Tabelle 5.1, für weitere Details vgl. Bericht ERK2 (2010) und FRIEDLI (2006)).

	<b>FRIEDLI (2006)</b>	<b>ERK2 (2010)</b>
<b>Berechnungseinheiten</b>	aus Arealstatistik	aus Vector25
<b>Erosionsmodell</b>	USLE	MUSLE87
<b>Höhenmodell</b>	DHM100 (100x100m)	DTM-AV (2x2m)
<b>Auflösung</b>	Hektarraster	2x2m

Tabelle 5.1: Vergleich der Karten ERK2 und der Bodenerosionsgefährdungskarte Schweiz (FRIEDLI 2006). Für weitere Auskünfte vgl. FRIEDLI (2006).

Erosionsrisikokarte für die LN der Schweiz (ERK2)



Bodenerosionsgefährdungskarte im Hektarraster  
LN inkl. Ackerland  
FRIEDLI (2006)

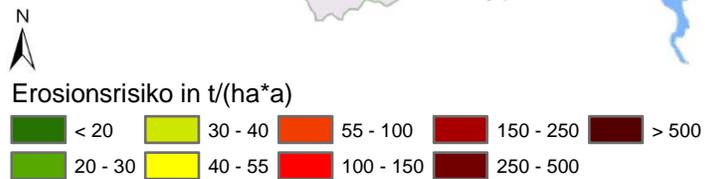
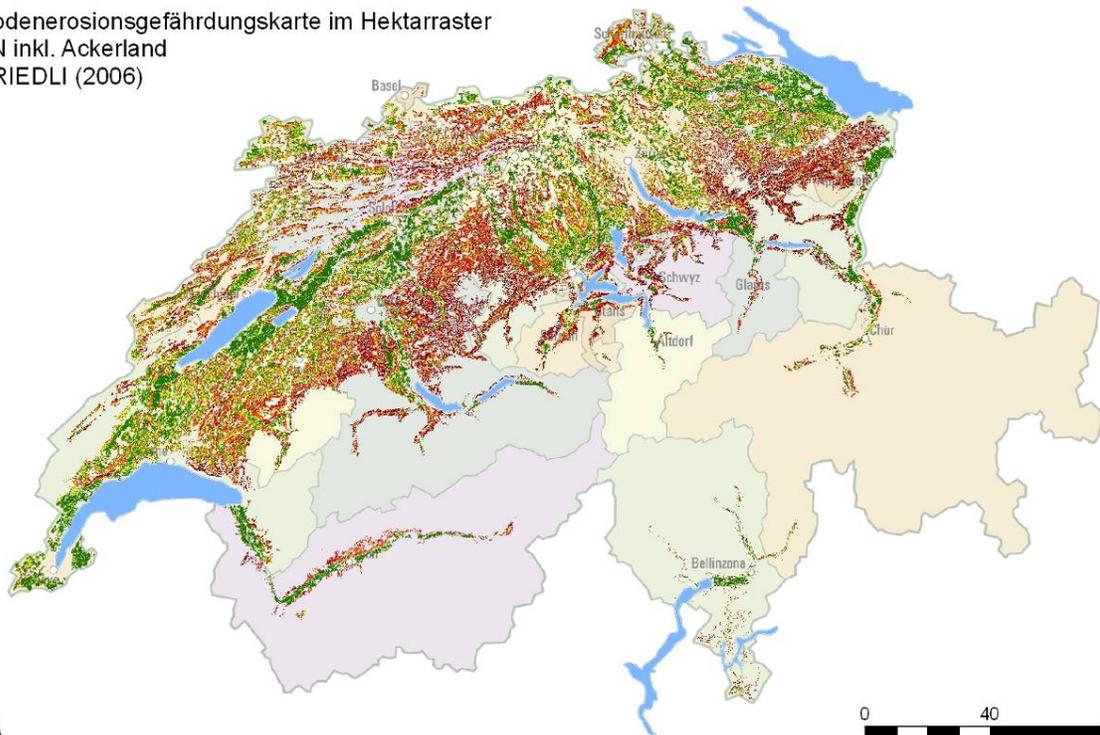
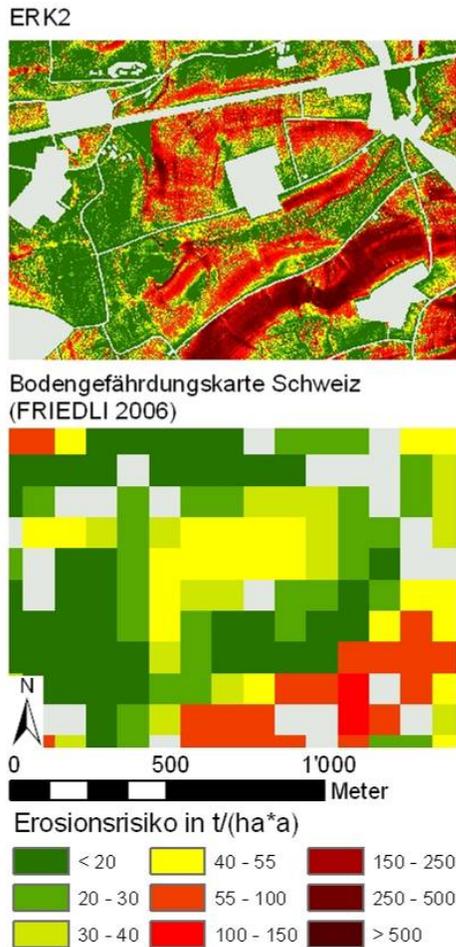


Abb. 5.3: Vergleich der zwei Schweizweiten Erosionsrisikokarten ERK2 (2010) und Bodenerosionsgefährdungskarte Schweiz (FRIEDLI 2006). Quelle: eigene Darstellung, FRIEDLI 2006 (unten, verändert)



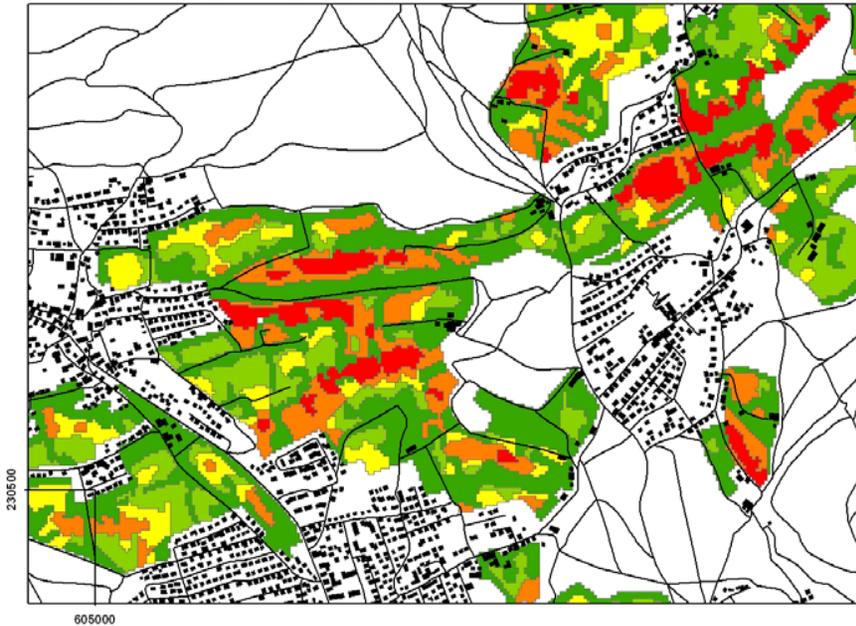
Trotz unterschiedlicher Ausgangslage in Datenmaterial und Methodik sind die Karten in Abbildung 5.3 gut vergleichbar. Die Ähnlichkeiten der beiden Abbildungen lassen auf eine grosse Übereinstimmung bei kleinmassstäblicher Betrachtung schliessen. Durch die unterschiedliche Auflösung der beiden Karten ist es naheliegend, dass sich bei näherer Betrachtung einige Unterschiede ergeben. Die Auflösung ist auch ein Grund für die sattere farbliche Darstellung der ERK2 in Abbildung 5.3. Zusätzlich spielt hier die Art der Herstellung der Berechnungseinheit eine Rolle. Der grosse Vorteil der ERK2 gegenüber der Karte von FRIEDLI liegt sicher in der höheren Auflösung und der daraus entstehenden erhöhten Aussagekraft bei näherer Betrachtung. Dieser Vorteil wird in Abbildung 5.4 deutlich. Die Gegenüberstellung des gleichen Ausschnittes beider Karten bringt die Stärken der ERK2 und ihrer Verwendungsmöglichkeiten bis Parzellenniveau zum Vorschein. Die Karte von FRIEDLI hingegen vermag einen guten Überblick der Gesamtsituation bieten, ist jedoch für den Einsatz in der Massnahmenplanung zu grob aufgelöst.

Abb. 5.4: Vergleich eines Ausschnittes der ERK2 mit der Bodenerosionsgefährdungskarte von FRIEDLI (2006). Quelle: eigene Darstellung, FRIEDLI (2006, verändert).

### **5.2.2 Kantonale Hinweiskarten Solothurn, Luzern und Genf**

Die Hinweiskarte 1:25'000 der erosionsbedingten Bodengefährdung im Kanton Solothurn (RÜTTIMANN et al. 2005a, Abbildung nächste Seite) wird im Vollzug erfolgreich eingesetzt und nach Auskunft von N. Emch regelmässig verwendet. Dabei hat man durchwegs positive Erfahrungen damit gemacht. Die Karte stiess sowohl bei den ÖLN-Kontrolleuren, wie auch bei den Landwirten auf grosse Akzeptanz. Sie bildet die Realität nach deren Meinung gut ab. Die Übereinstimmung der ERK2 mit der Hinweiskarte von Solothurn ist augenscheinlich. Daher darf angenommen werden, dass auch die ERK2 die Realität gut abbildet und somit ebenfalls auf grosse Akzeptanz treffen wird. Durch das höher aufgelöste Geländemodell und der Verwendung von multiple-flow Algorithmen liefert die ERK2 aber ein deutlich differenzierteres Bild.

Hinweiskarte Kanton Solothurn



Erosionsrisiko



0 150 300 600  
Meter

Erosionsrisikokarte AVErosion (ERK2)



Erosionsrisiko in t/(ha\*a)



0 150 300 600  
Meter

Abb. 5.5: Vergleich der kantonalen Hinweiskarte der erosionsgedingten Bodengefährdung Solothurn (links), mit den Modellierungen mittels AVErosion unter Verwendung der MUSLE87 (rechts). Quelle: eigene Darstellung, Hinweiskarte der erosionsbedingten Bodengefährdung Solothurn (1:25'000); RÜTTIMANN et al. (2005a).

Ähnlich grosse Übereinstimmungen wie im Kanton Solothurn fanden sich auch im Kanton Luzern. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Vergleich der Hinweiskarte der erosionsbedingten Bodengefährdung für einen Ausschnitt im Luzerner Mittelland (1:25'000, RÜTTIMANN et al. 2004) mit der ERK2. Hier sind auch die unterschiedlichen Auflösungen gut ersichtlich.

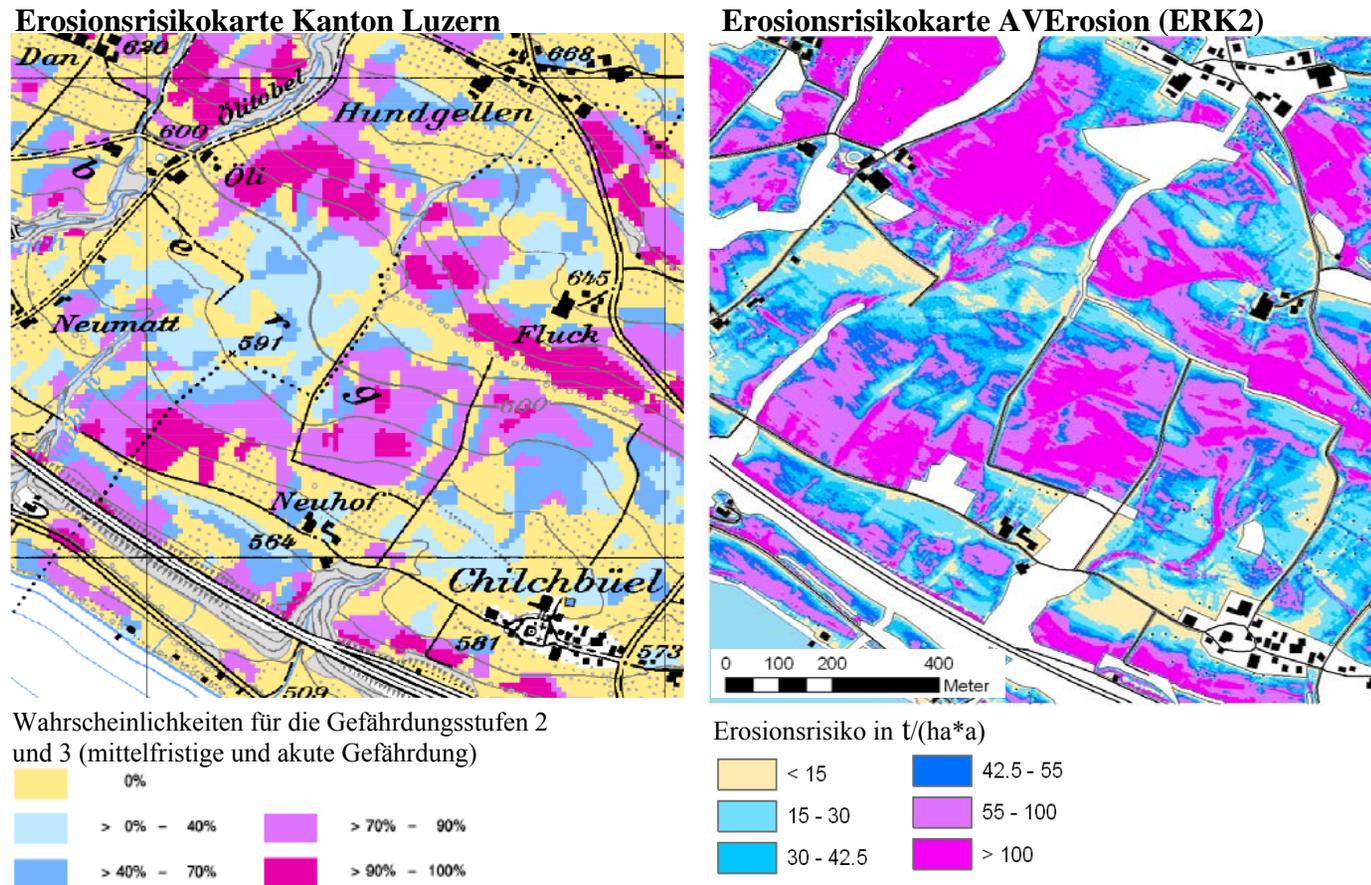
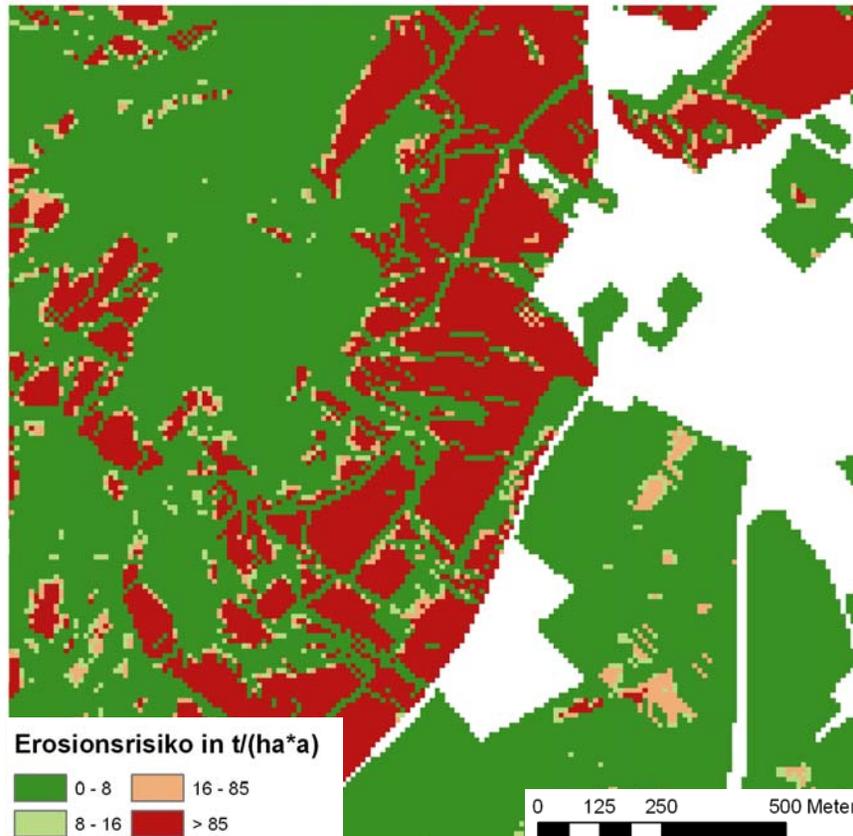


Abb. 5.6: Vergleich der kantonalen Hinweiskarte der erosionsbedingten Bodengefährdung Luzern mit den Modellierungen mittels AVErosion. Quelle: eigene Darstellung, Hinweiskarte der erosionsbedingten Bodengefährdung Luzern (1:25'000), RÜTTIMANN et al. (2004).

Wie in den zwei vorangegangenen Beispielen lassen sich auch im Kanton Genf viele Gemeinsamkeiten zwischen beiden Karten erkennen. Die Abbildung zeigt den Vergleich der Hinweiskarte 1:25'000 der erosionsbedingten Bodengefährdung im Kanton Genf (RÜTTIMANN et al. 2005b) mit der ERK2 (mit fließenden Werten).

### Hinweiskarte Kanton Genf



### Erosionsrisikokarte AVErosion (ERK2)

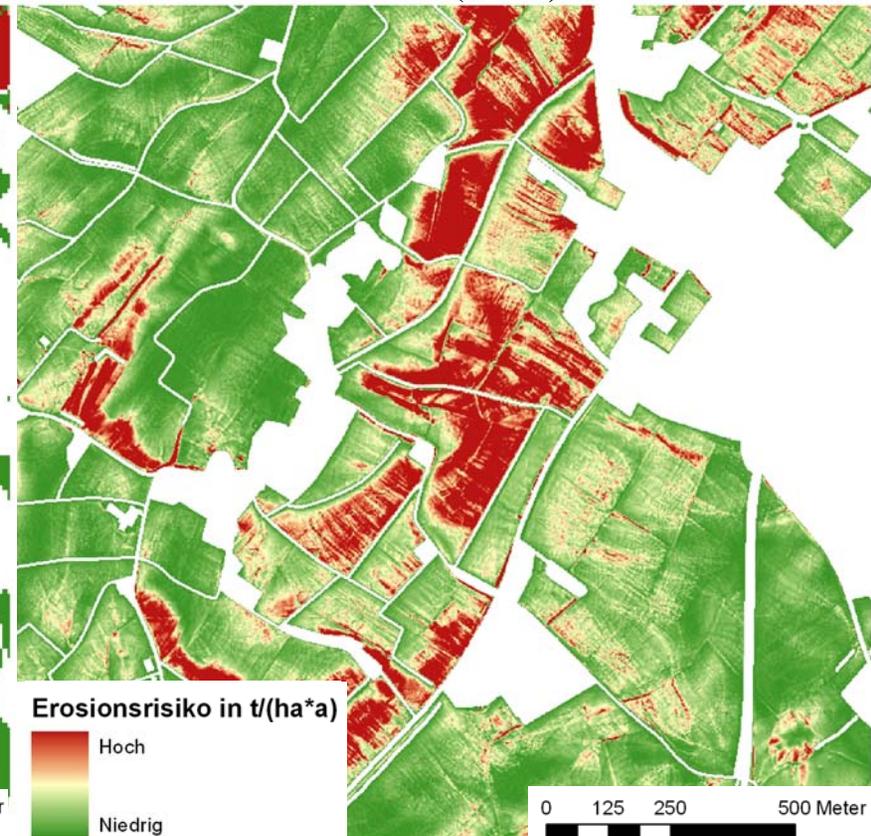


Abb. 5.6: Vergleich der kantonalen Hinweiskarte der erosionsbedingten Bodengefährdung Genf mit den Modellierungen mittels AVErosion. Quelle: eigene Darstellung, Hinweiskarte der erosionsbedingten Bodengefährdung 1:25'000, Toleranzwert 4 t/(ha\*a) (RÜTTIMANN et al. 2005b).

Fazit dieses Vergleichs:

In den Vergleichen ist eine gute bis sehr gute optische Übereinstimmung in allen drei Gebieten zu sehen. Die höhere Auflösung der ERK2 liefert detailliertere Aussagen auf Parzellenebene und eignet sich daher noch besser für den Vollzug und in der Umsetzung von Massnahmenplänen. Fliesswege, Grabenstrukturen, Muldenformen sowie der Einfluss von erosionsmindernden Elementen lassen sich gut erkennen und liefern Hinweise für den Ansatz von geeigneten Massnahmen. Da die kantonalen Hinweiskarten von RÜTTIMANN et al. 2004, 2005a, b im Vollzug auf grosse Akzeptanz stossen, sollte dies auch bei der ERK2 der Fall sein. Der Einsatz einer solchen Karte im Vollzug ist möglich und findet Zustimmung, wie das Beispiel des Kantons Solothurn mit der Hinweiskarte der erosionsbedingten Bodengefährdung 1:25'000 zeigt. Die Umsetzung in anderen Kantonen mit der Verwendung der ERK2 sollte somit realisierbar sein.

**5.2.3 Vergleich mit den Daten von Avenches und Boiron de Morges**

Im Rahmen einer Diplomarbeit (NOLL 2009) an der Ecole d'Ingénieurs de Changins wurde ein Tool entwickelt, welches das Transferrisiko von Pestiziden durch Oberflächenabfluss und Erosion abschätzen soll. Das Tool wurde im Gebiet Boiron de Morges (VD) am Genfersee auf einer Fläche von 980 ha eingesetzt und im Feld überprüft (NOLL et al. 2010). Das Tool wurde weiterhin in einer Masterarbeit von GASSMANN (2010) im Gebiet Avenches am Murtensee (VD) auf rund 600 Parzellen eingesetzt. In Avenches lagen zusätzlich Feldbeobachtungen zur Bodenerosion vor, um das Tool auf Plausibilität zu prüfen.

Da der Ansatz von NOLL et al. (2010) (vgl. Abb. 5.6) die Erosion als dominanten Eintragspfad berechnet und eine Gefährdungseinschätzung auf Parzellenebene macht und da Feldbeobachtungen zur aktuellen Erosionssituation vorlagen, sollte es mit der ERK2 verglichen werden. Entsprechend wurden die beiden Gebiete Boiron de Morges und Avenches auch mit AVErosion berechnet. Die Ergebnisse der ERK2 wurden den Ergebnissen von NOLL (2009, 2010) und GASSMANN (2010) gegenübergestellt und mit diesen diskutiert. Da das Ziel des Tools von NOLL aber der Gewässereintrag über Erosion ist und nicht nur das Erosionsrisiko der Fläche selbst, ist ein Vergleich nur bedingt möglich.

Der Aufbau der zwei verschiedenen Methoden wird in den nachfolgenden Grafiken grob erläutert (Abb. 5.6 und 5.7). Die Methode der ERK2 stützt sich auf die Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE87) und das Modell AVErosion ab. Dieser Ansatz berechnet durch Multiplikation von Daten zur Bodenerodibilität (K-Faktor), Niederschlagserosivität (R-Faktor), Hangneigung (S-Faktor) und Einzugsgebietsgrösse (L-Faktor) eine mittlere langjährige potentielle Erosionsgefährdung. Weitere Angaben dazu finden sich im Kapitel 2.

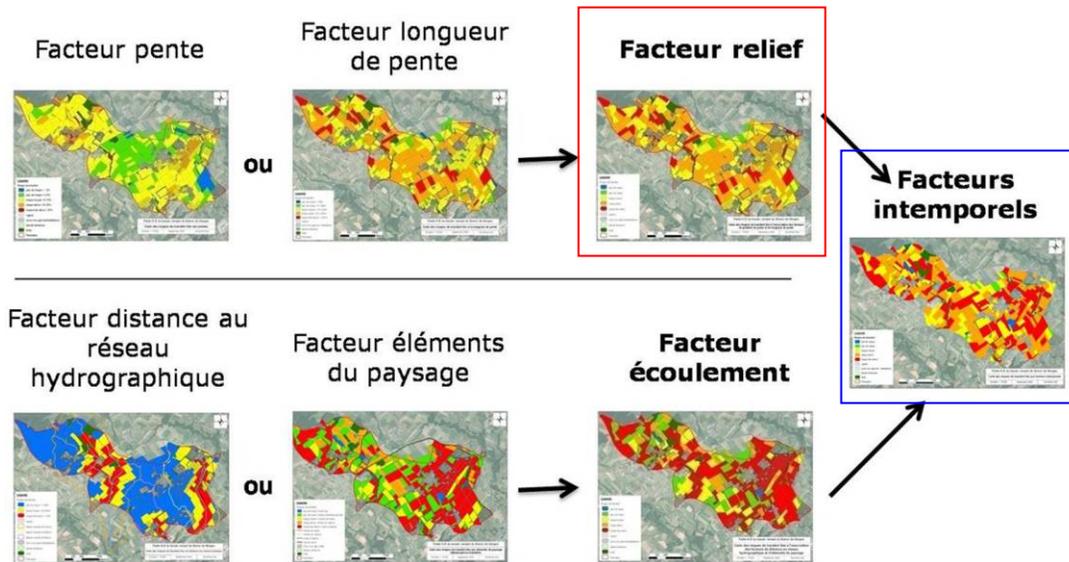


Abb. 5.6 Prinzip der Verwendung der verschiedenen Karten zur Ableitung der Karte mit dem potentiellen Transferrisiko für Pflanzenschutzmittel auf Grund der Standortfaktoren mit dem Tool von NOLL et al. (2010). Quelle: NOLL et al. (2010).

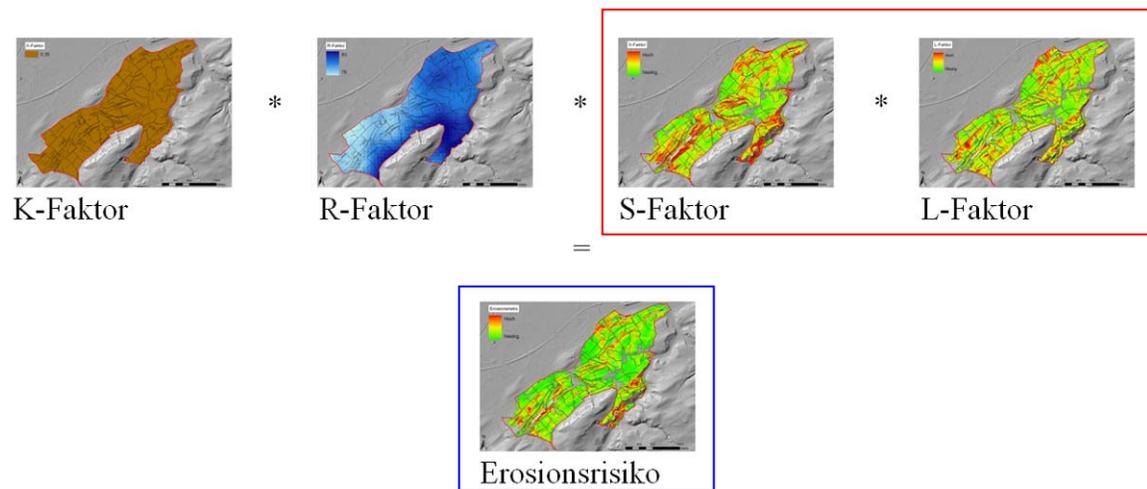


Abb. 5.7: Schematische Darstellung der Ableitung der ERK2 unter Verwendung der MUSLE87 und AVErosion für das Gebiet Avenches.

Der Ansatz von NOLL baut auf ähnlichen Prinzipien wie die ERK2 auf, weist aber noch weitere Faktoren auf, welche zur Abschätzung des Transferrisikos auf Grund der Standortfaktoren beitragen. Neben Angaben zur Hangneigung (Facteur pente) und der Hanglänge (Facteur longueur de pente), welche den Relieffaktor (Facteur relief) bilden, wer-

den in einem weiteren Schritt noch zusätzliche Angaben verwendet. Dies sind Daten zum Abstand zu Gewässern (Facteur distance au réseau hydrographique) und zu Landschaftselementen, welche die Fliessrichtung und Menge des Oberflächenabflusses bestimmen können (Beschaffenheit von Strassen und Wegen, Pufferstreifen, Hecken, Körnung des Oberbodens (Facteur éléments du paysage). Diese zwei Faktoren bilden zusammen den Faktor Abfluss (Facteur écoulement). Kombiniert man den Facteur relief mit dem Facteur écoulement erhält man das resultierende potentielle Transferrisiko auf Grund der Standortfaktoren (unvergängliche Faktoren bzw. Facteurs intemporels) (vgl. dazu Abb. 5.6). Die Angaben, welche im Facteur écoulement enthalten sind werden bei der ERK2 nicht berücksichtigt, was einen direkten Vergleich der Endresultate erschwert. Deswegen wurden in einem ersten Schritt die Daten zum Relief verglichen (Abb. 5.6 und 5.7, rot eingerahmt). In einem zweiten Schritt wurden die resultierenden Erosionsrisikoabschätzungen verglichen (Abb. 5.6 und 5.7, blau eingerahmt) und bei Unterschieden wurden die weiterführenden Faktoren mit einbezogen.

#### Vergleich der Relieffaktoren

Beim optischen Vergleich der beiden Karten der Relieffaktoren (Abb. 5.8 – 5.11) zeigen sich in beiden Gebieten viele Gemeinsamkeiten. So sind viele der Gebiete mit höherer Reliefenergie übereinstimmend (blaue Segmente). In einigen Gebieten (rote Segmente) gibt es jedoch Unterschiede. Diese sind einerseits auf die unterschiedliche Berechnungsbasis (Parzelle vs. Feldblock) zurückzuführen. Diese Einteilung verkürzt im Falle der Parzellen z.T. die Hanglänge und führt zu geringeren Werten. Andererseits werden die Hanglängen bei beiden Methoden leicht anders berechnet. Während bei der Methode von NOLL die Hanglänge die längste Fliessstrecke entlang des Gefälles innerhalb einer Parzelle darstellt, bezeichnet der L-Faktor bei der ERK2 die Einzugsgebietsgrösse anhand eines Multiple-Flow Algorithmus, welcher Fliesswege in mehrere Richtungen erlaubt. Dies führt vor allem in nur leicht geneigten Feldblöcken zu anderen Resultaten als bei der Methode NOLL. Das Fazit dieses Vergleichs darf aber als gut bezeichnet werden.

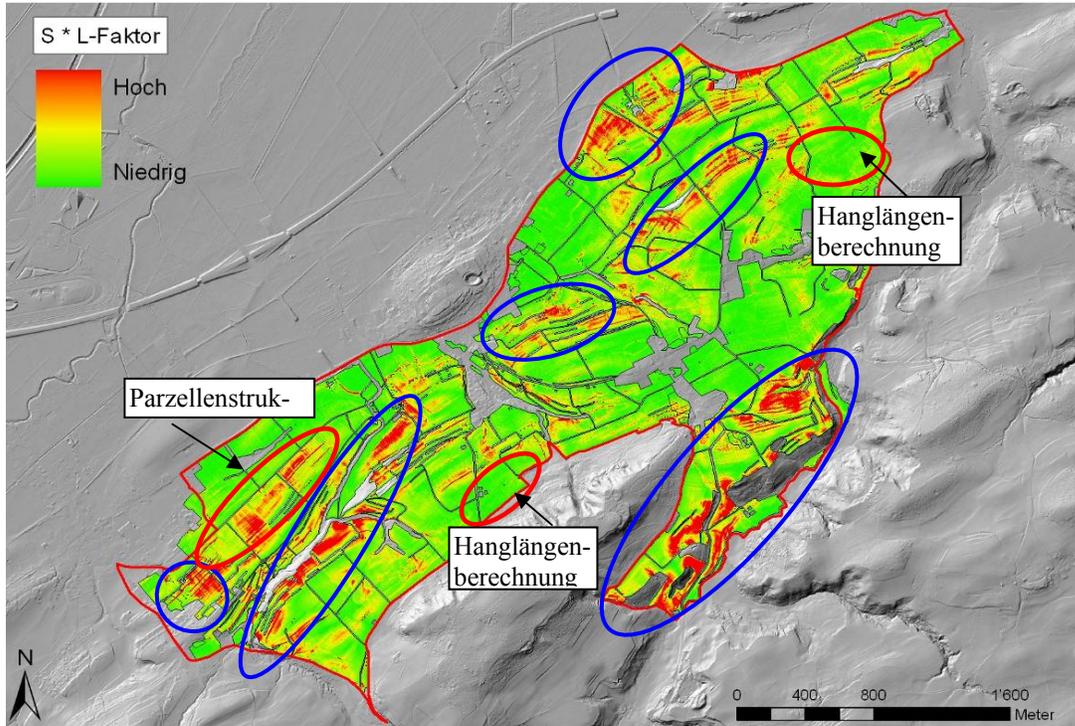


Abb. 5.8: Multiplikation von S- und L-Faktor mit AVErosion im Gebiet Avenches. Eingezeichnet sind Übereinstimmungen (blau) und Unterschiede (rot) zur Karte „Facteur relief“ von Avenches. Quelle: eigene Darstellung, mit hinterlegtem Hillshade aus DTM-AV (swisstopo).

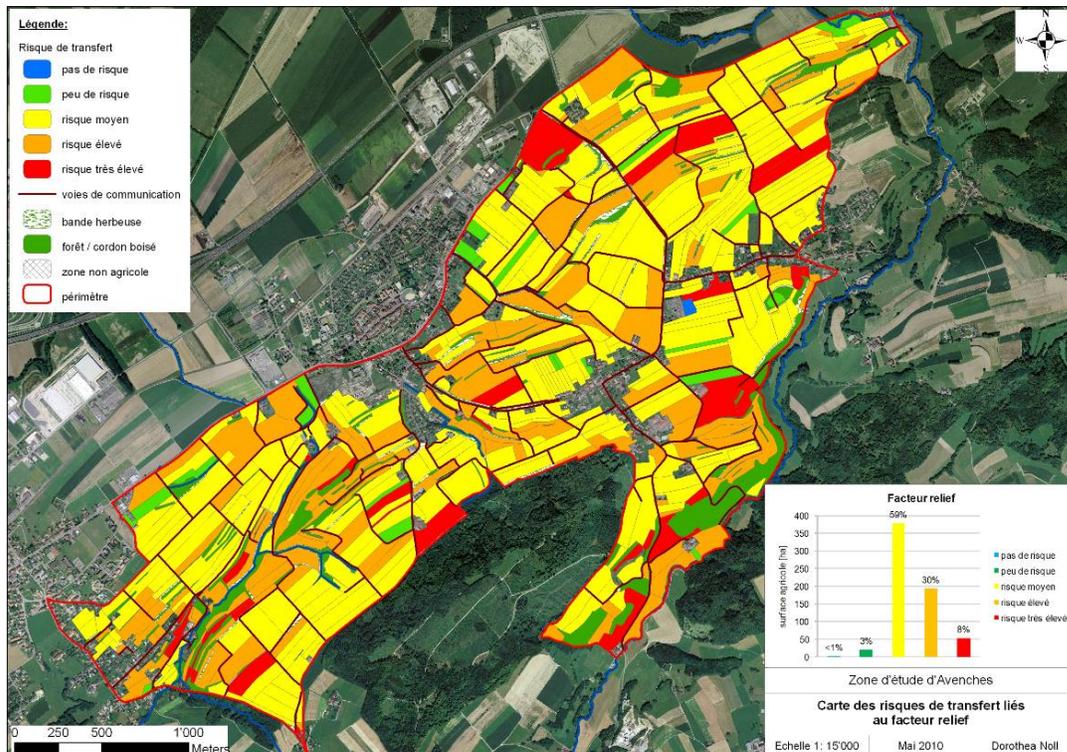


Abb. 5.9: Facteur relief vom Gebiet Avenches nach der Methode NOLL. Quelle: NOLL et al. (2010).

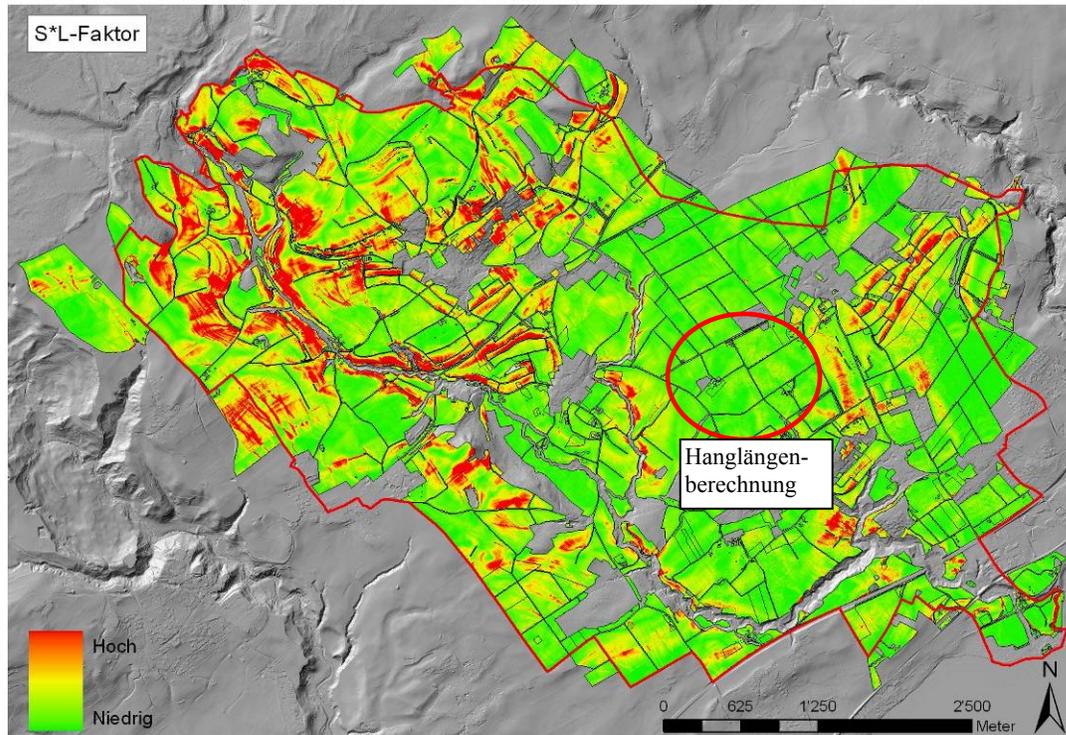


Abb. 5.10: Multiplikation von S- und L-Faktor mit AVErosion im Gebiet Boiron de Morges. Rot eingezeichnet ein Gebiet mit unterschiedlicher Beurteilung. Grund dafür ist die Methode der Hanglängenberechnung. Quelle: eigene Darstellung, mit hinterlegtem Hillshade aus DTM-AV (swisstopo).

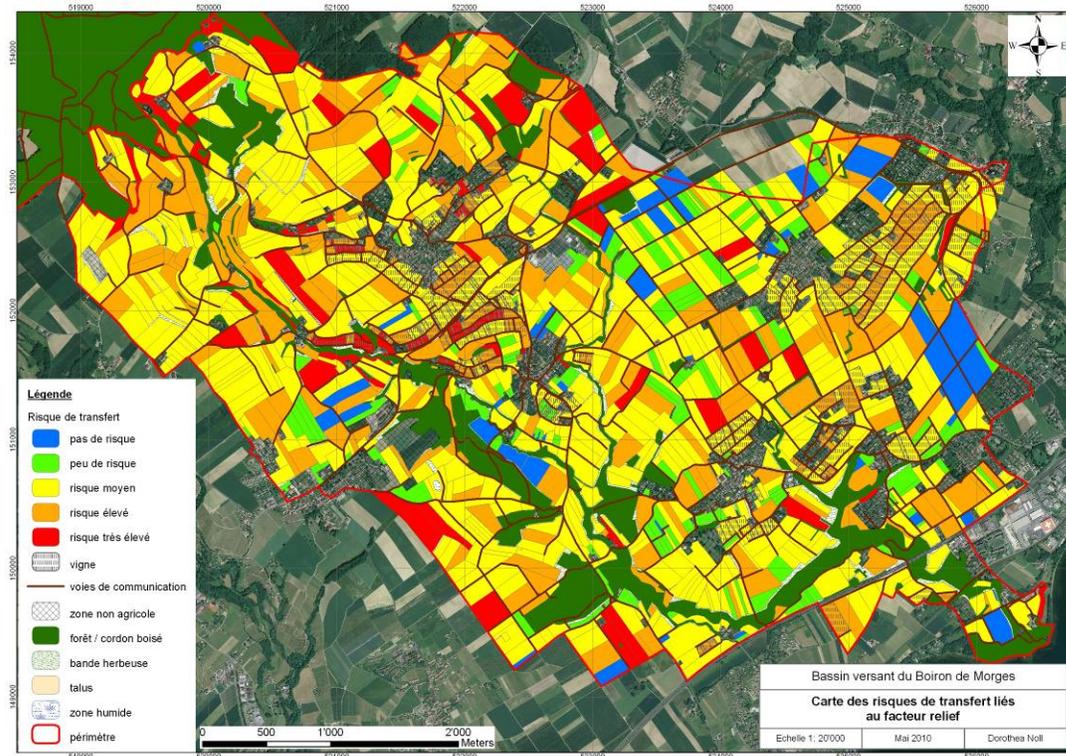


Abb. 5.11: Faktor relief vom Gebiet Boiron des Morges nach der Methode NOLL. Quelle: NOLL et al. (2010).

### Vergleich des resultierenden Erosionsrisikos

Beim Vergleich der ERK2 und der Karte „Facteurs Intemporels“ von Avenches und Boiron de Morges (Abb. 5.12 – 5.15) zeigen sich die besprochenen Probleme der Vergleichbarkeit der Methoden. Trotz dieser Probleme zeigt sich aber auch hier noch ein weitgehend übereinstimmendes Bild (blaue Segmente). Die einzelnen Gebiete, welche unterschiedliche Erosionsrisiken ausweisen, sind grossenteils auf den Einbezug der Gewässernähe bei der Methode NOLL zurückzuführen. Weiter sind die unterschiedliche Parzellenstruktur und Hanglängenberechnung ausschlaggebend für die variierende Einschätzung mit den zwei Methoden. Grundsätzlich darf aber über den gesamten Perimeter durchaus von übereinstimmenden Resultaten gesprochen werden.

Beiden Varianten gemeinsam ist, dass sie potentielle Gefährdungen aufzeigen und somit nicht die aktuelle Gefährdung auf einzelnen Parzellen widerspiegeln (dies ist in beiden Methoden durch zusätzliche Daten theoretisch möglich und wurde bei der Methode NOLL auch zusätzlich gemacht). So sind z.B. die meisten rot eingefärbten Parzellen entlang der Flüsse in der Realität Dauergrünlandparzellen und stellen somit keine aktuell gefährdeten Gebiete dar. Entsprechend liefert der Vergleich zu den beobachteten Erosionsschäden nicht überall eine befriedigende Übereinstimmung (vgl. dazu Abb. 5.16 und 5.17). Die meisten Stellen, an denen Erosion oder Oberflächenabfluss kartiert worden ist, zeigen auch in der ERK2 eine mittlere bis hohe Erosionsgefährdung. Es wurde aber auch an Stellen Erosion kartiert, die nach ERK2 keine Erosionsgefährdung aufweisen. Hier können eventuell andere Gründe (Fremdwasserzufluss, Hangwasseraustritt etc.), die mit dem Modell nicht erfasst werden können, Ursache gewesen sein. Zur Klärung dieser Frage wären gezielte Feldbesichtigungen notwendig.

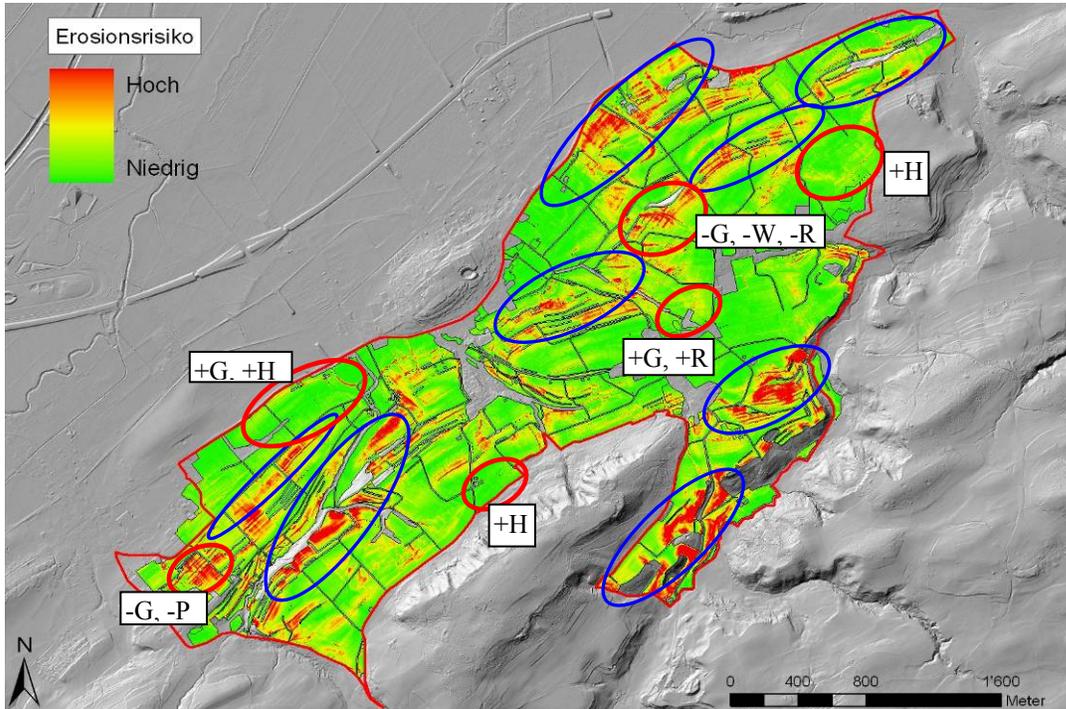


Abb. 5.12: Potentielles Erosionsrisiko der ERK2 im Gebiet Avenches. Eingezeichnet sind Übereinstimmungen (blau) und Unterschiede (rot) zur Karte „Facteurs intemporels“ von Avenches. G (Gewässer), W (Wege), R (Relief), H (Hanglänge), P (Parzellenstruktur), +/- bezeichnet den verstärkenden resp. abschwächenden Einfluss. Quelle: eigene Darstellung, mit hinterlegtem Hillshade aus DTM-AV (swisstopo).

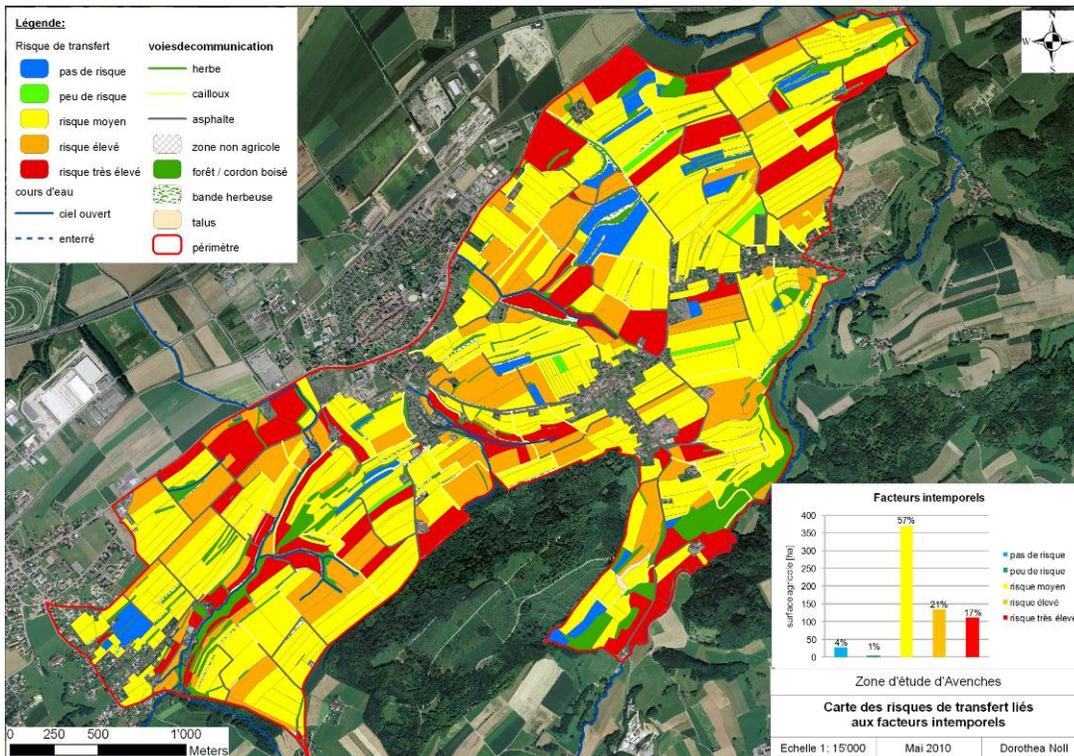


Abb. 5.13: Facteurs intemporels vom Gebiet Avenches nach der Methode NOLL. Quelle: NOLL et al. (2010).

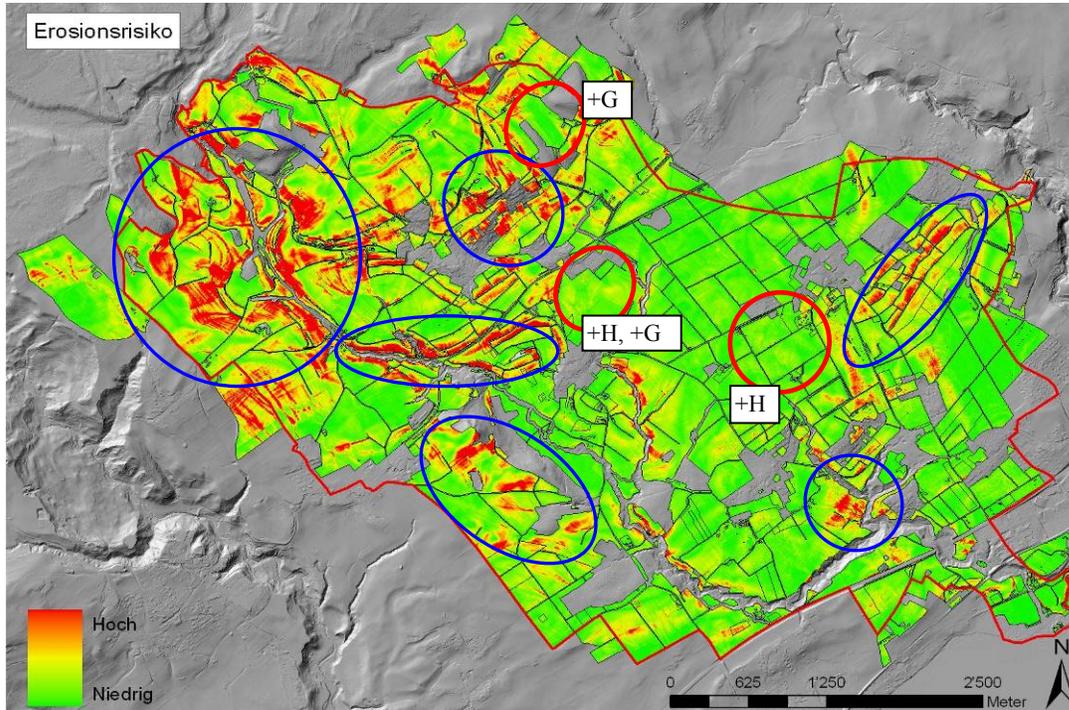


Abb. 5.14: Potentielles Erosionsrisiko der ERK2 im Gebiet Borion de Morges. Eingezeichnet sind Übereinstimmungen (blau) und Unterschiede (rot) zur Karte „Facteurs intemporels“ von Boiron de Morges. G (Gewässer), H (Hanglänge), +/- bezeichnet den verstärkenden resp. abschwächenden Einfluss. Quelle: eigene Darstellung, mit hinterlegtem Hillshade aus DTM-AV (swisstopo).

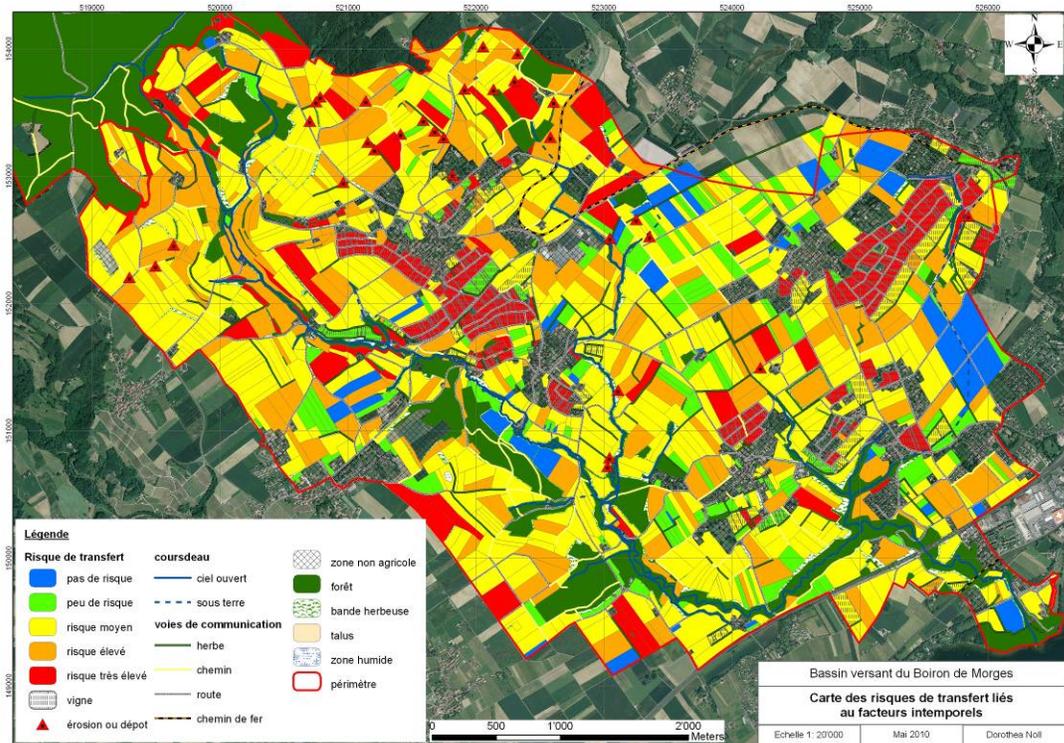


Abb. 5.15: Facteurs intemporels vom Gebiet Boiron de Morges nach der Methode NOLL. Quelle: NOLL et al. (2010).

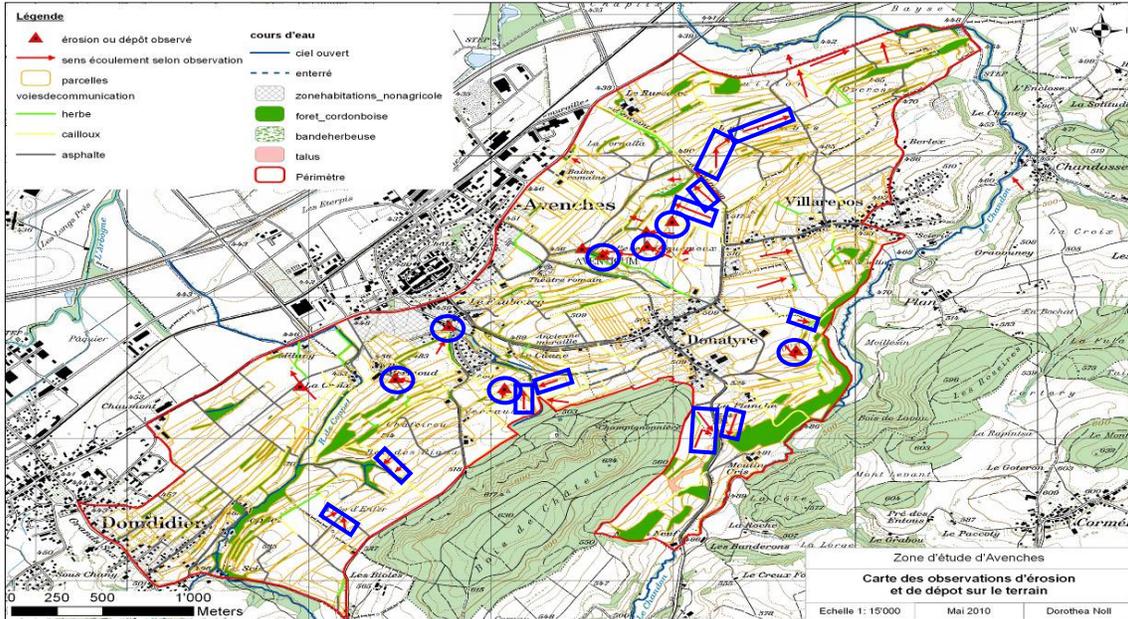


Abb. 5.16: Vergleich der effektiven Erosionsereignisse im Gebiet Avenches mit den Modellierungen mit AVErosion unter Verwendung der MUSLE87. Blau eingerahmt die Übereinstimmungen mit der ERK2 (vgl. Abb. 5.12). Quelle: veränderte Darstellung nach P. JULIEN.

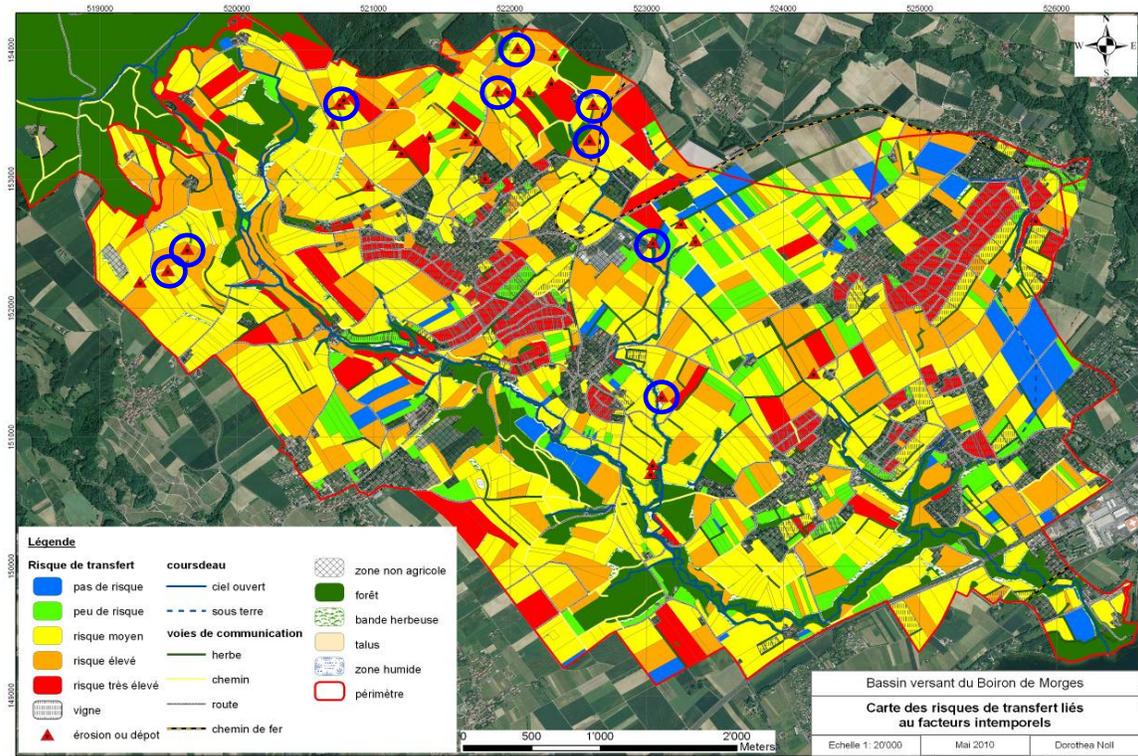


Abb. 5.17: Vergleich der effektiven Erosionsereignisse im Gebiet Boiron de Morges mit den Modellierungen von NOLL et al. (2010). Blau eingerahmt die Übereinstimmungen mit der ERK2 (vgl. Abb. 5.16). Quelle: veränderte Darstellung nach P. JULIEN.

Welche Methode die besseren Resultate liefert, kann nicht beurteilt werden. Für eine reine Beurteilung des Bodenverlustes wird die Einbindung der Nähe zum Gewässer eher irreführend sein, zumal sie in der Methode NOLL doch recht stark ins Gewicht fällt. Will man jedoch Pestizid-, Sediment- oder Phosphoreinträge in Gewässer beurteilen, macht dieses Szenario Sinn. Des Weiteren ist die Wahl der Methode eine Frage der Skalen und eine Frage der zur Verfügung stehenden Datengrundlagen und Ressourcen. Der Ansatz von NOLL liesse sich kaum schweizweit realisieren.

## 6. INTERPRETATIONSHILFE FÜR DIE ERK2 (FALLBEISPIELE)

Da das Erosionsrisiko in hohem Masse von der Geländetopologie beeinflusst wird, kann man aus der resultierenden Erosionsrisikokarte auch annähernd das vorliegende Relief abschätzen bzw. den Grund dafür erkennen, ob oder warum eine Erosionsgefährdung vorliegt. Dies hilft bei der Interpretation der Darstellung des potentiellen Erosionsrisikos. Wo sind Muldenformen? Wo gibt es Gräben? Wie ist die grobe Form des Geländes? Konkave oder konvexe Hänge, Fließrichtungen usw. lassen sich aus dem Ergebnis der Erosionsrisikokarte oft sehr detailliert abschätzen und erlauben eine erste Ursachenanalyse. Um dies zu erläutern und einige Tipps zu geben, wie man eine solche Abschätzung angehen muss, finden sich auf den folgenden Seiten einige illustrierte Beispiele. Sie geben Anhaltspunkte, um sich auf der Karte rasch ein Bild machen und sie richtig interpretieren zu können.

Generell gilt:

**Grüne Farbe = relative ebene Fläche, Talboden, Hangfuss oder Plateau oder Anfang eines Hanges (sehr kurze erosive Hanglänge bzw. Fließstrecke des Wassers)**

**Gelbe Farbe = Übergangsbereich, leichte bis mittlere Hanglage**

**Rote Farbe = mittlerer bis steiler Hang, Geländemulde, Böschung**

### **6.1 Geländeform und Fließrichtung aus der Erosionsrisikokarte abschätzen**

Zuerst sollte die Richtung des vorhandenen Gefälles abgeschätzt werden. Da die Erosion immer entlang der Fließwege und somit der Neigung stattfindet, wird sie sich mit zunehmender Hangneigung und Hanglänge verstärken. Befindet man sich jedoch am Beginn eines Hangabschnittes, ist die Fließlänge (erosive Hanglänge) noch zu klein, um grössere Bodenabträge verursachen zu können. Diese Abschnitte sind somit grün eingefärbt. Auch sind die höher gelegenen Aussengrenzen eines Feldblocks immer mit einem grün eingefärbten Rand markiert (Fließlänge fängt dort bei 0 an). **Sucht man also die Richtung des Gefälles eines Hanges, sollte man sich von den grünen über die gelben zu den roten Farbtönen orientieren.** Verändert sich die Farbe dann im Verlauf wieder Richtung gelb und grün, kann man davon ausgehen, dass die Richtung des Gefälles sich nun ebenfalls geändert hat und man an einen Gegenhang gerät (vgl. Abb. 6.1) oder aber der Hang in eine ebene Fläche ausläuft.

### **6.1.1 Beispiel 1: Geländeform**

Das Gefälle beim hellblauen Punkt in nachfolgender Abbildung (6.1) wechselt, je nach dem in welche Richtung man entlang des Pfeils geht (vgl. Profil). Dies lässt sich auch aus der Darstellung der Erosionsrisikokarte ableiten. Vom hellblauen Punkt Richtung Anfang des Pfeils am Feldblockrand sind zuerst grüne Farbtöne, welche sich allmählich ins gelbliche und schliesslich gegen den Feldblockrand hin ins rötliche ändern. Dies zeigt einerseits auf, dass das Gefälle vom hellblauen Punkt aus in diese Richtung geht und andererseits, dass das Gefälle nicht so stark ist, da der Wechsel der Farben nicht abrupt ist. Anders verhält es sich, wenn man vom hellblauen Punkt aus Richtung Pfeilspitze geht. Das Gefälle ist ebenfalls durch die farbliche Abfolge grün-gelb-rot erkennbar. Der Wechsel erfolgt aber innert kürzester Distanz, was auf die stärkere Hangneigung zurückzuführen ist (vgl. Profil). Um den zweiten Punkt (dunkelblau) herum gibt es eine Abschwächung des Erosionsrisikos, und von da an die farbliche Abfolge rot-gelb-grün (schwach ausgeprägt). Dies impliziert einen Wechsel des Gefälles in die Gegenrichtung (vgl. Profil). Da die Farbgebung eher diffus ist, kann man von einem leichteren Gefälle ausgehen (vgl. Profil). Gegen die Pfeilspitze hin wechselt das Gefälle erneut (grün-gelb-rot), somit fällt der Hang in Richtung Pfeilspitze wieder ab.

Auf ähnliche Art lässt sich in anderen Gebieten auf relativ einfache und rasche Weise die Erosionsrisikokarte mit den Geländeinformationen in Verbindung setzen. Wichtig ist vor allem, zu schauen, ob an einem Feldblockrand grüne oder rote Pixel vorhanden sind. Dies liefert den ersten Hinweis, ob man sich am oberen Ende oder in flachem Gebiet (grün) oder am unteren Ende (rot) eines Feldblocks befindet.

### Interpretation der Geländeform anhand des Erosionsrisikos

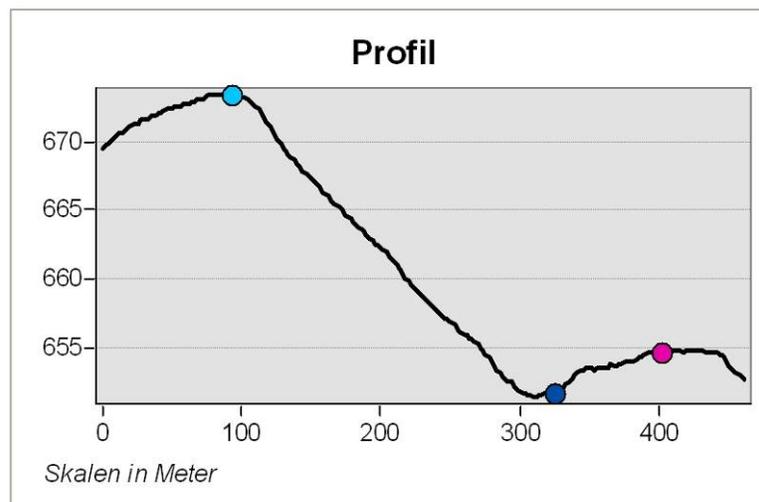
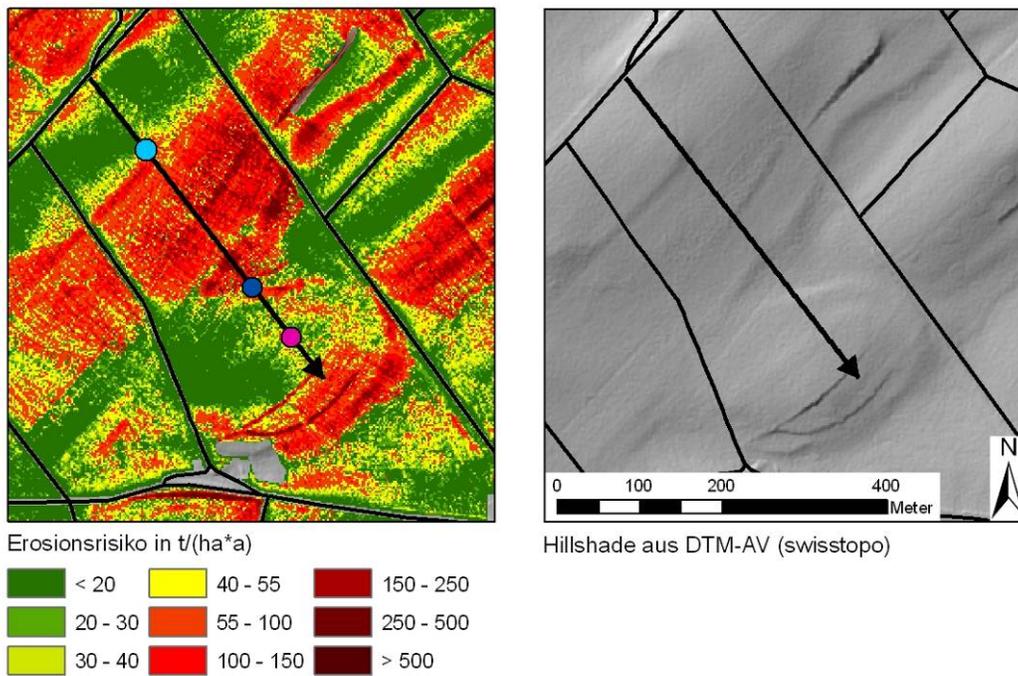


Abb. 6.1: Die Abbildung zeigt einen Feldblock mit unterschiedlicher Geländeform und deren Erosionsformen (links) mit entsprechendem Hillshade (aus DTM-AV, swisstopo, rechts) und dem dazugehörigen Profil (unten). Quelle: eigene Darstellung.

### 6.1.2 Beispiel 2: Gestreckter Hang

Wenn ein Hang gegen den Hangfuss hin langsam ausläuft und verflacht, dann nimmt das Erosionsrisiko in diese Richtung (rot-gelb-grün) ab (vgl. Abb. 6.2). Im nachfolgenden Beispiel sieht man einen Hang mit recht gleichmässigem Gefälle, welcher lateral leicht konkav ist (deshalb in der Mitte etwas stärker rot als am Rand). Der Hang läuft gegen die Pfeilspitze hin in eine Fläche aus und das dargestellte Erosionsrisiko verliert sich in der Fläche (rot-gelb-grün). Dieser Verlauf steht im Gegensatz zu Beispiel 1, wo das Gefälle in Richtung grün-gelb-rot verläuft. Der entscheidende Hinweis ist hier, dass am Pfeilfang die Reihenfolge grün-gelb-rot vorhanden ist. Das Gefälle zeigt also in Richtung Pfeilspitze und unten folgt eine grössere grüne Fläche, welche daher sehr flach sein muss. Oben ist auch eine recht klare Grenze erkennbar, wo die Risikostufen wechseln, unten hingegen läuft es einfach aus.

#### Interpretation der Geländeform anhand des Erosionsrisikos Gestreckter Hang, auslaufend

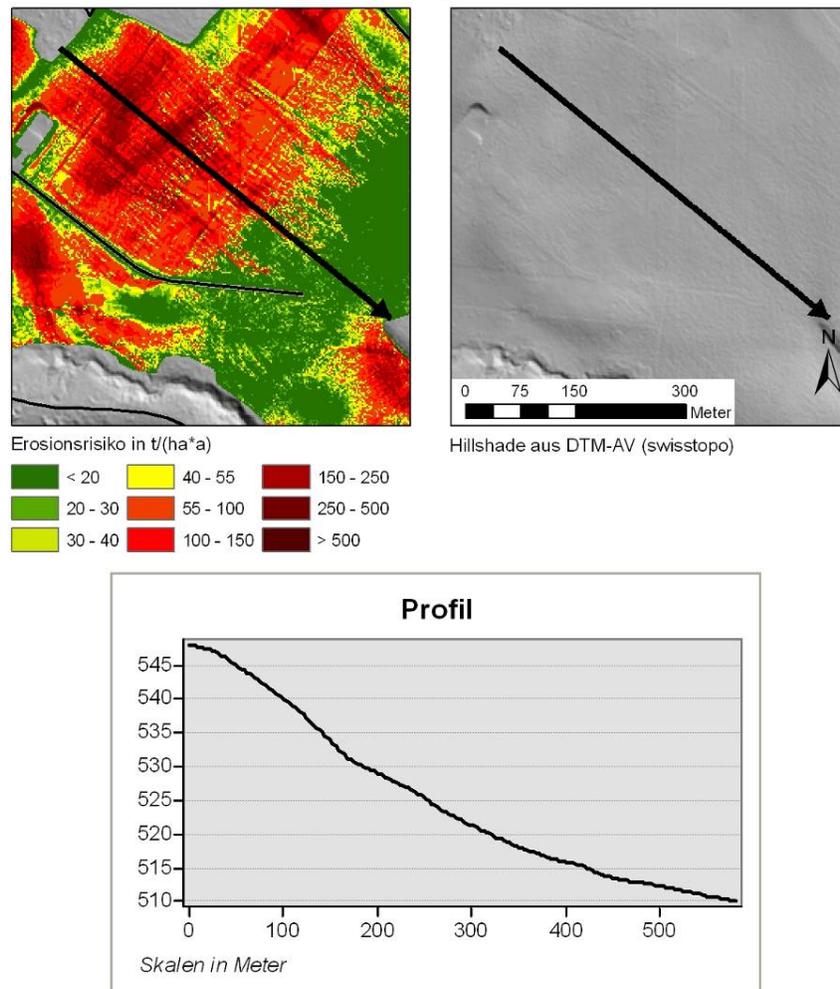
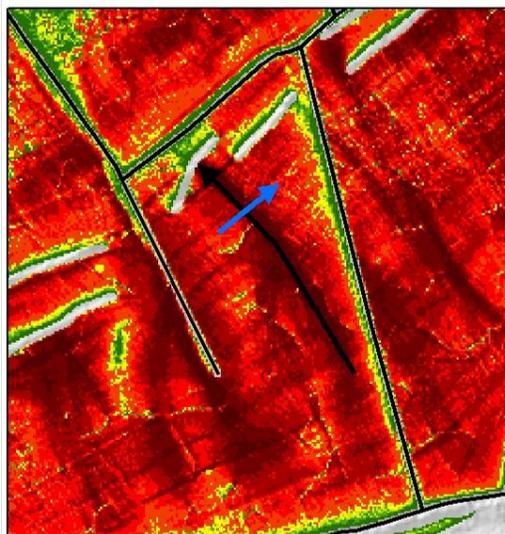


Abb. 6.2: Die Abbildung zeigt einen gestreckten Hang mit seiner Erosionsform (links), entsprechendem Hillshade (aus DTM-AV, swisstopo, rechts) und dem dazugehörigen Profil (unten). Quelle: eigene Darstellung.

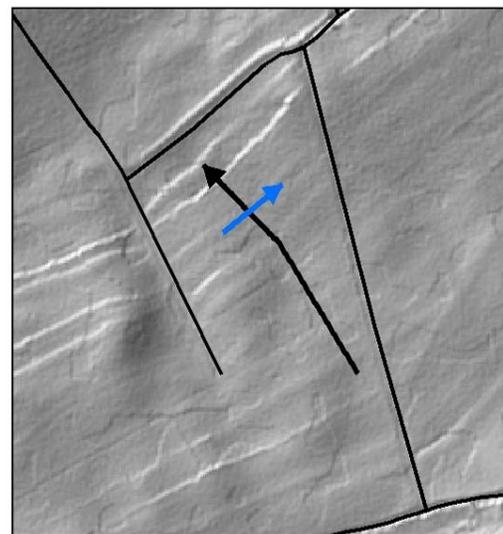
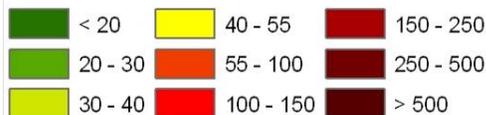
### 6.1.3 Beispiel 3: Talweg/Geländemulde

Geländemulden sind Vertiefungen im Gelände, welche den Wasserfluss kanalisieren und ableiten (sogenannte Talwege). Durch die zusammenfließenden Wassermassen und die damit einhergehende Erhöhung des L-Faktors drücken sich solche Geländeformen in einem stark erhöhten Erosionsrisiko aus (vgl. Abb. 6.3, links). Die Grabenstruktur (Profil Blau) mit dem entsprechenden Längsgefälle (Profil Schwarz) führen zu diesem Effekt. Durch die Zusammenführung der Wassermassen entwickeln diese enorme Kräfte und können etliche Tonnen Erdmaterial bewegen. Sind solche Strukturen in der ERK2 erkennbar, wird eine detaillierte Überprüfung der Situation dringend angeraten, da solche Strukturen häufig zu hohen Bodenabträgen (Talwegerosion) führen.

#### Interpretation der Geländeform anhand des Erosionsrisikos Talweg



Erosionsrisiko in t/(ha\*a)



Hillshade aus DTM-AV (swisstopo)

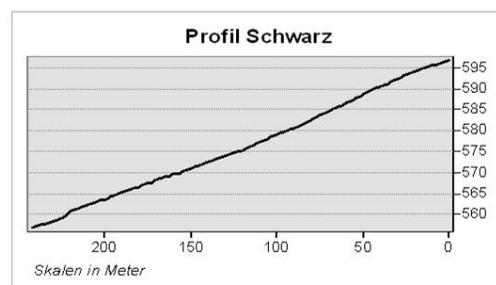
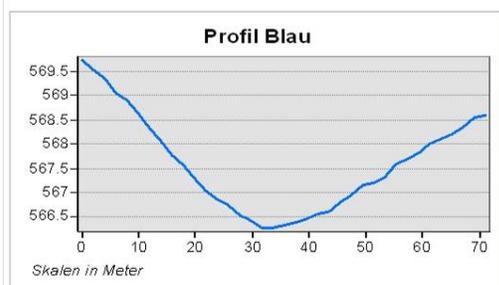


Abb. 6.3: Die Abbildung zeigt eine Geländemulde mit einem hohen Risiko für Talwegerosion (links) mit entsprechendem Hillshade (aus DTM-AV, swisstopo, rechts) und den dazugehörigen Profilen (unten). Quelle: eigene Darstellung.

### 6.1.4 Beispiel 4: Geländekante

Geländekanten sind örtlich eng begrenzte, steile Abhänge, welche z.B. bei Übergängen von einer Terrassenstufe zur nächsten vorkommen können. Oft treten sie zusammen mit Hecken- und Baumreihen auf (siehe weisse Striche in den Feldblöcken in Abb. 6.4, oben links). Das sehr detaillierte DTM-AV mit seiner Auflösung von 2x2m bildet solche Geländekanten ab. Sie fliessen somit ebenfalls in die Berechnung des Erosionsrisikos ein. Die Kanten bilden sich durch ihren sehr hohen S-Faktor (Hangneigung) im Endresultat ab und sind dort durch linienhafte, dunkelrot eingefärbte Strukturen erkennbar. Je nach Verlauf des Geländes darunter verebbt das aufkeimende Erosionsrisiko (flaches Gelände, vgl. 1 in Abb. 6.4) und bleibt somit örtlich stark begrenzt oder es ist der Beginn einer längeren Hangpartie mit erhöhtem Erosionsrisiko (vgl. 2 in Abb. 6.4).

#### Auswirkungen von Geländekanten auf das Erosionsrisiko

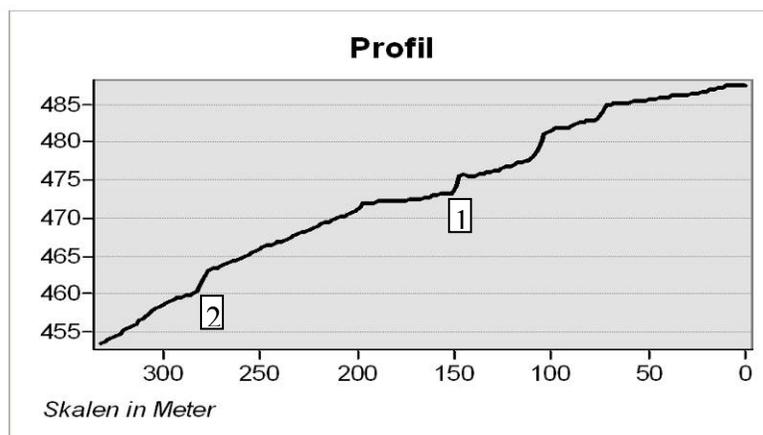
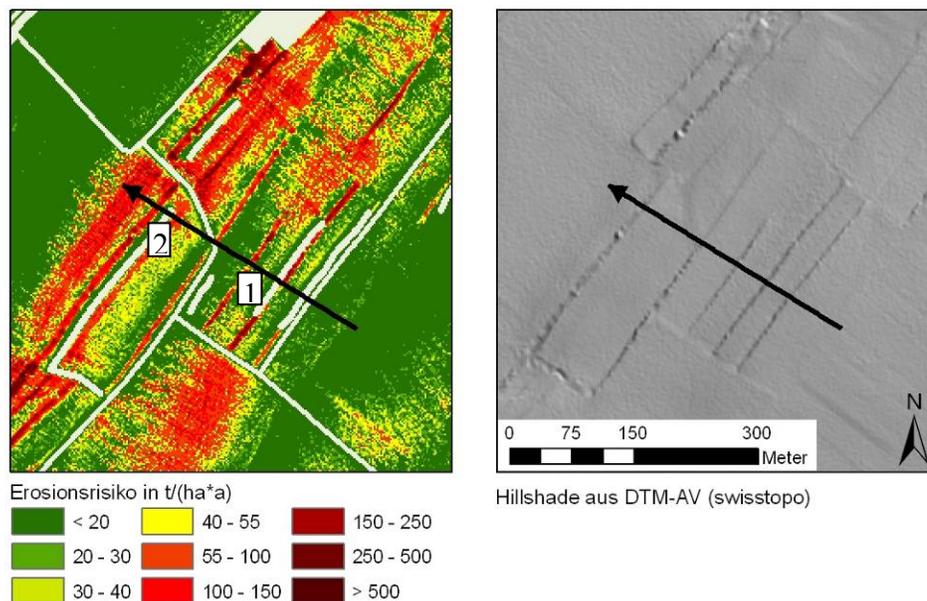


Abb. 6.4: Die Abbildung zeigt eine Geländekante und ihre Erosionsform (links) mit entsprechendem Hillshade (aus DTM-AV, swisstopo, rechts) und dem dazugehörigen Profil (unten). Quelle: eigene Darstellung.

### 6.1.5 Beispiel 5: Hecken

Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel mit Hecken und Geländekanten. Die Hecken haben eine erosionsmindernde Wirkung (Unterbrechung der erosiven Hanglänge), was an den grün-gelben Bereichen am unteren Ende der Hecken zu sehen ist. Da die Hangneigung in diesem Falle jedoch relativ gross ist, bleibt dieser Effekt relativ eng begrenzt. Aus der Anordnung der grün-gelben Bereiche lässt sich auch die Richtung des Gefälles bestimmen. Dieses geht von den roten Bereichen oberhalb einer Hecke zum grün-gelben Bereich unterhalb der Hecke (vgl. Abbildung und Profil).

#### Auswirkungen von Geländekanten und Hecken auf das Erosionsrisiko

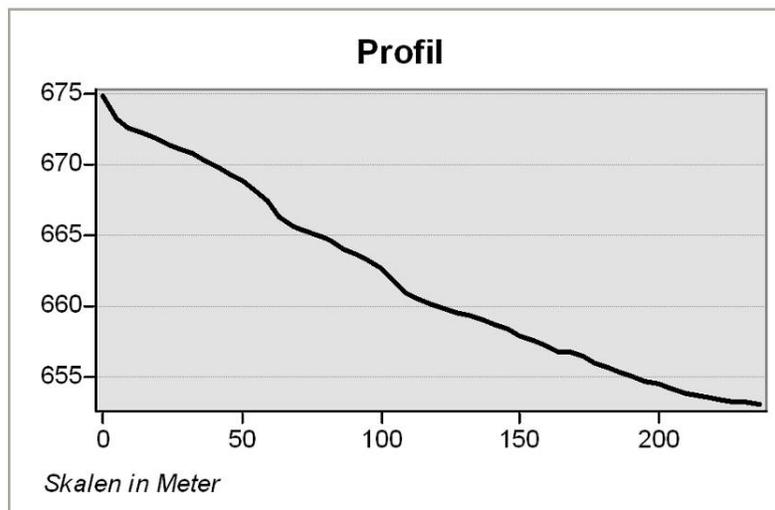
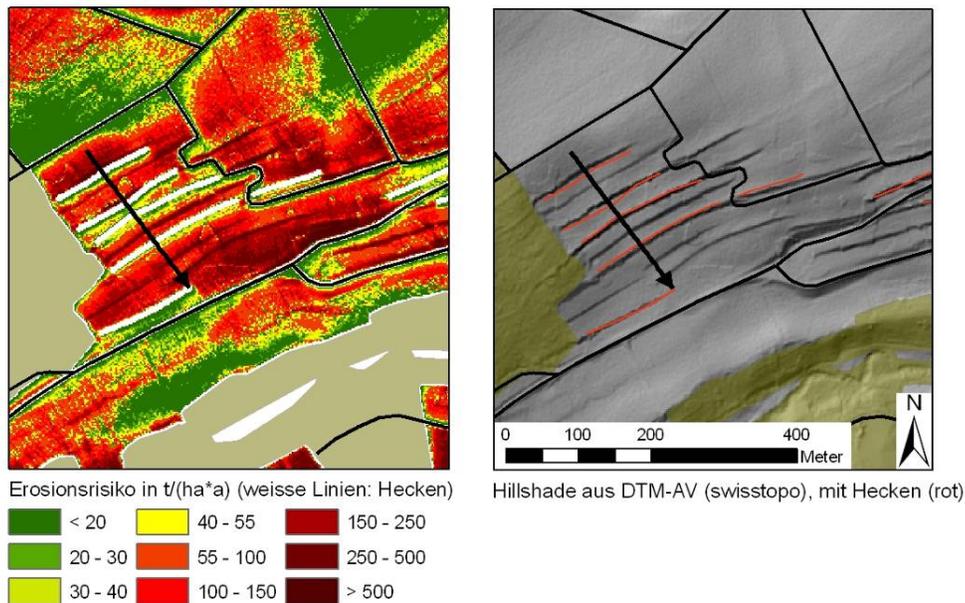


Abb. 6.6: Die Abbildung zeigt Geländekanten mit Hecken und ihre Erosionsformen (links), entsprechendes Hillshade (aus DTM-AV, swisstopo, rechts) und dem dazugehörigen Profil (unten). Quelle: eigene Darstellung.

## 6.2 Spezielle Erscheinungsformen in der ERK2

### 6.2.1 Beispiel 6: Einfluss unterschiedlicher Masstäbe (K-Faktor)

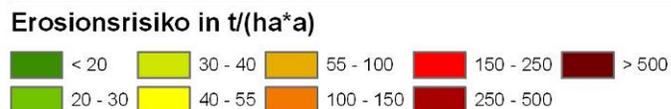
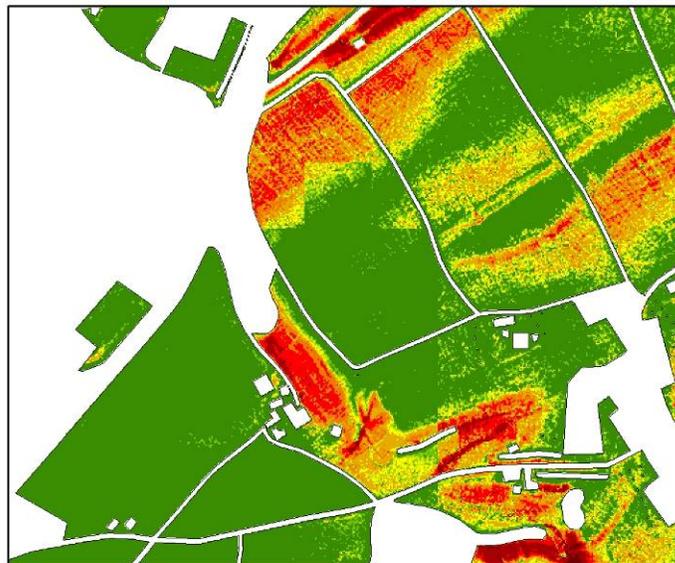
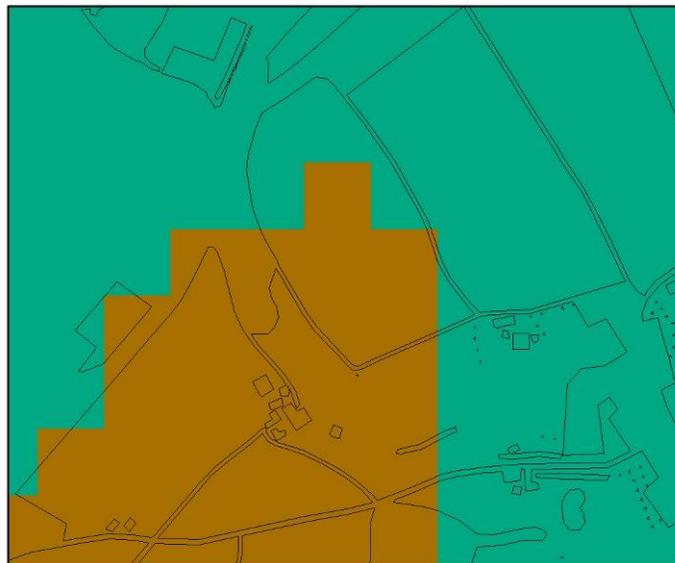


Abb. 6.7: Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt der ERK2 (unten) und entsprechenden K-Faktor. Zu sehen ist der Einfluss der Auflösung des K-Faktors auf die ERK2. Quelle: eigene Darstellung.

Dieses Beispiel zeigt die Auswirkungen unterschiedlicher Masstäbe der Grundlagendaten. Das Beispiel zeigt den K-Faktor, welcher im dargestellten Gebiet nur im Masstab 1:200'000 vorliegt. Die verwendete Auflösung im Hektarraster ist viel geringer, als die des DTM-AV (2x2m). Zu dem wechselt hier der K-Faktorwert über zwei Klassen hinweg von 0.15 auf 0.35. Diesen Einfluss sieht man deutlich in der Erosionsrisikokarte. Dort ist das Gebiet mit K-Faktorwert 0.15 mit einem tieferen Risiko ausgewiesen und es ergibt sich durch das Hektarraster des K-Faktors eine kantige Abstufung in der Darstellung. Dies gibt natürlich nicht die Realität wieder. Deshalb wird hier auf solche Erscheinungsformen hingewiesen. **Solche kantigen Änderungen in der ERK2 sind meist auf Masstabsunterschiede bei den Grundlagendaten zurückzuführen.** Beim R-Faktor wird dieses Problem eher weniger auftreten, obwohl auch dort die Auflösung geringer ist. Jedoch sind die Unterschiede zwischen zwei Pixeln nie so gross wie beim K-Faktor, da es beim R-Faktor fließende Werte gibt und keine Klassen. Das Beispiel zeigt zugleich, dass besser aufgelöste Bodendaten ein realis-

tischeres Bild der Erosionsgefährdung liefern würden. Sollten höher aufgelöste Bodendaten dem Anwender zur Verfügung stehen, können diese verwendet werden. Das Vorgehen wurde in Kap. 4.2.2 beschrieben.

### **6.2.2 Beispiel 7: Probleme an Kachelgrenzen**

Wie in Kapitel 3.2.1 schon erwähnt, gibt es teilweise fehlerhafte Übergänge in den DTM-AV Daten. Diese sind vor allem an Kartenblatträndern der LK25 und LK50 zu finden, können aber auch bei der Basiseinheit ( $1/16$  LK25) auftreten (vgl. Abb. 6.8). Die nicht übereinstimmenden Kachelgrenzen führen zur Bildung von künstlichen „Dämmen“ oder „Kanälen“, welche auf die modellierte Erosion Auswirkungen haben (Bild links). Sie beeinflussen die Fließwege des „virtuellen Wassers“ bei der Berechnung des S- und L-Faktors und führen zu fehlerhaften Berechnungen. Durch die Darstellung eines Hillshades aus dem DTM-AV werden solche Strukturen deutlich erkennbar (Bild rechts). Bei der Beurteilung solcher Gebiete ist Vorsicht geboten, da es z.T. zu stärkeren Änderungen des Erosionsrisikos kommen kann. Im Zweifelsfall muss bei Swisstopo nachgefragt werden, ob inzwischen ein bereinigtes DTM-AV vorliegt und eine Neuberechnung mit AV-Erosion durchgeführt werden.

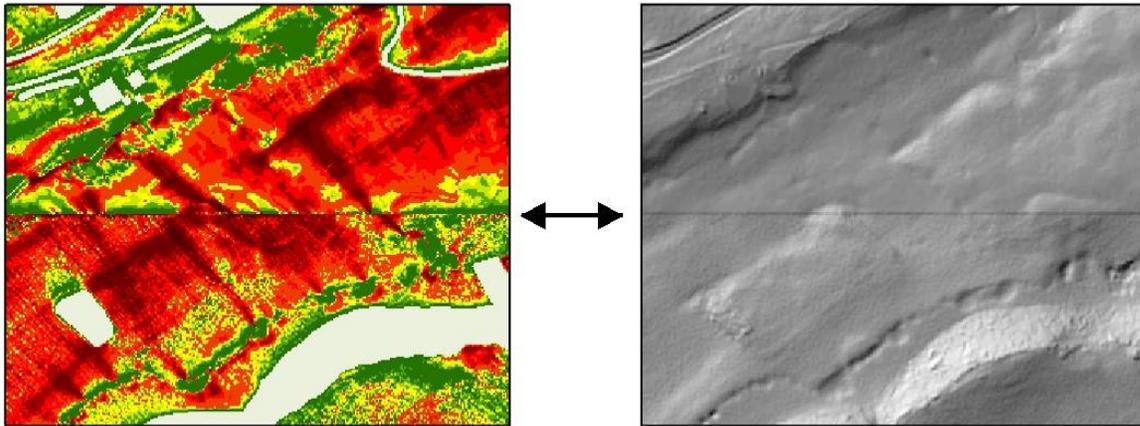


Abb. 6.8: Auswirkungen von fehlerhaften Übergängen an Kachelgrenzen. Die Abbildung zeigt den Übergang von einem  $1/16$  LK25 Kartenblatt zum nächsten. Links: Auswirkungen auf das Erosionsergebnis. Rechts: Darstellung als Hillshade (DTM-AV, swisstopo) mit klar erkennbarer Linienstruktur. Quelle: eigene Darstellung.

### 6.3 Vergleiche mit realen Ereignissen

Nachfolgende Beispiele zeigen stark erosionsgefährdete Hangabschnitte/Parzellen mit typischen Erosionsformen und den entsprechenden Ausschnitt aus der ERK2. Die Vergleiche zwischen Foto und Karte sollen zeigen, wie man sich Kartenausschnitte der ERK2 in der Realität vorstellen muss (vgl. Abb. 6.9 – 6.14).

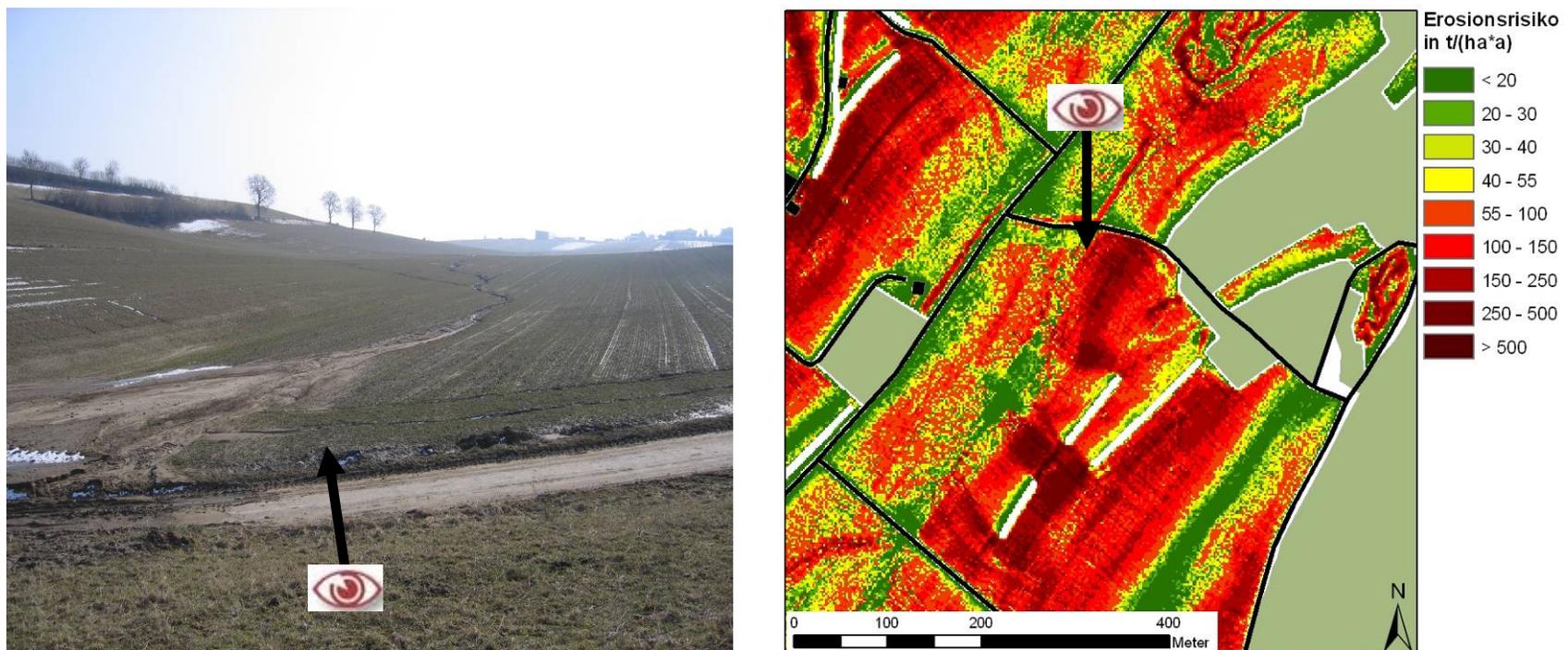


Abb. 6.9: Vergleich von Foto und modelliertem Erosionsrisiko. Links im Foto ein steiler Hang mit Erosion, in der Mitte eine Mulde mit Talwegerosion. Oben links im Foto zwei Hecken, die auch im Modell abgebildet sind. Quelle: eigene Darstellung, Foto Thomas Ledermann (CDE).

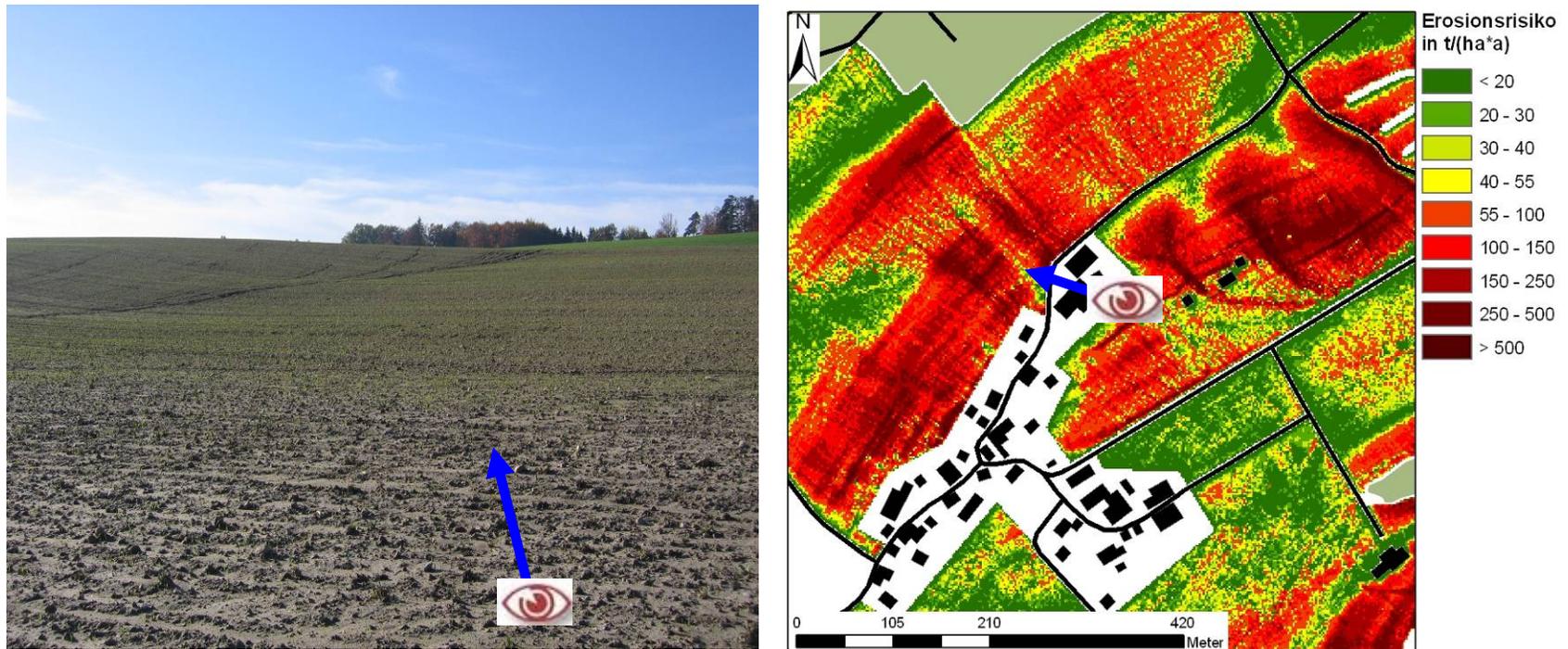


Abb. 6.10: Vergleich von Foto und modelliertem Erosionsrisiko. Steiler Hang mit flächenhafter Erosion sowie Geländemulde mit linearer Erosion. Quelle: eigene Darstellung, Foto: Thomas Ledermann (CDE).

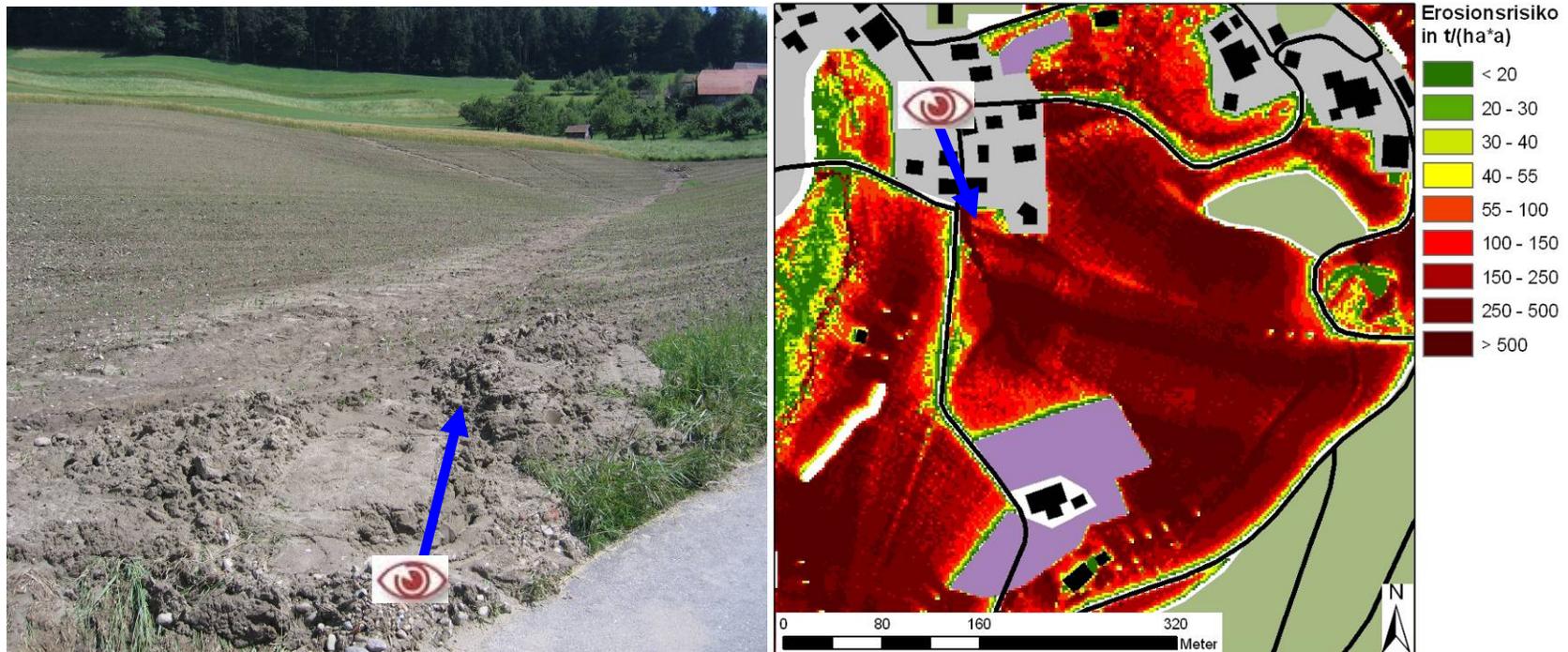


Abb. 6.11: Vergleich von Foto und modelliertem Erosionsrisiko. Die typische Geländemulde mit Talwegerosion wird auch im Modell gut abgebildet. Wasser ist auch aus den stark erosionsgefährdeten, begrünten Parzellen oberhalb des Ackers geflossen. Quelle: eigene Darstellung, Foto Thomas Ledermann (CDE).

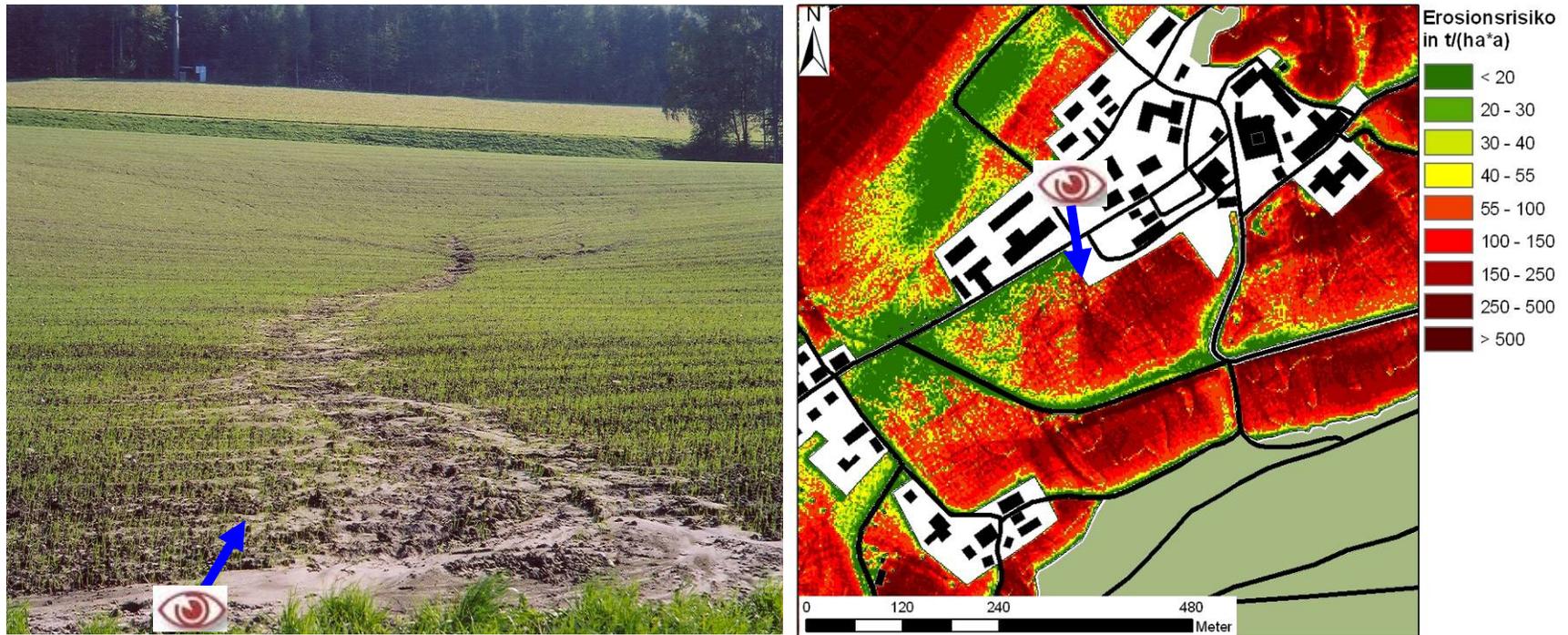


Abb. 6.12: Vergleich von Foto und modelliertem Erosionsrisiko. Ein weiteres Beispiel für eine Geländemulde mit Talwegerosion. Quelle: eigene Darstellung, Foto Volker Prasuhn (ART).

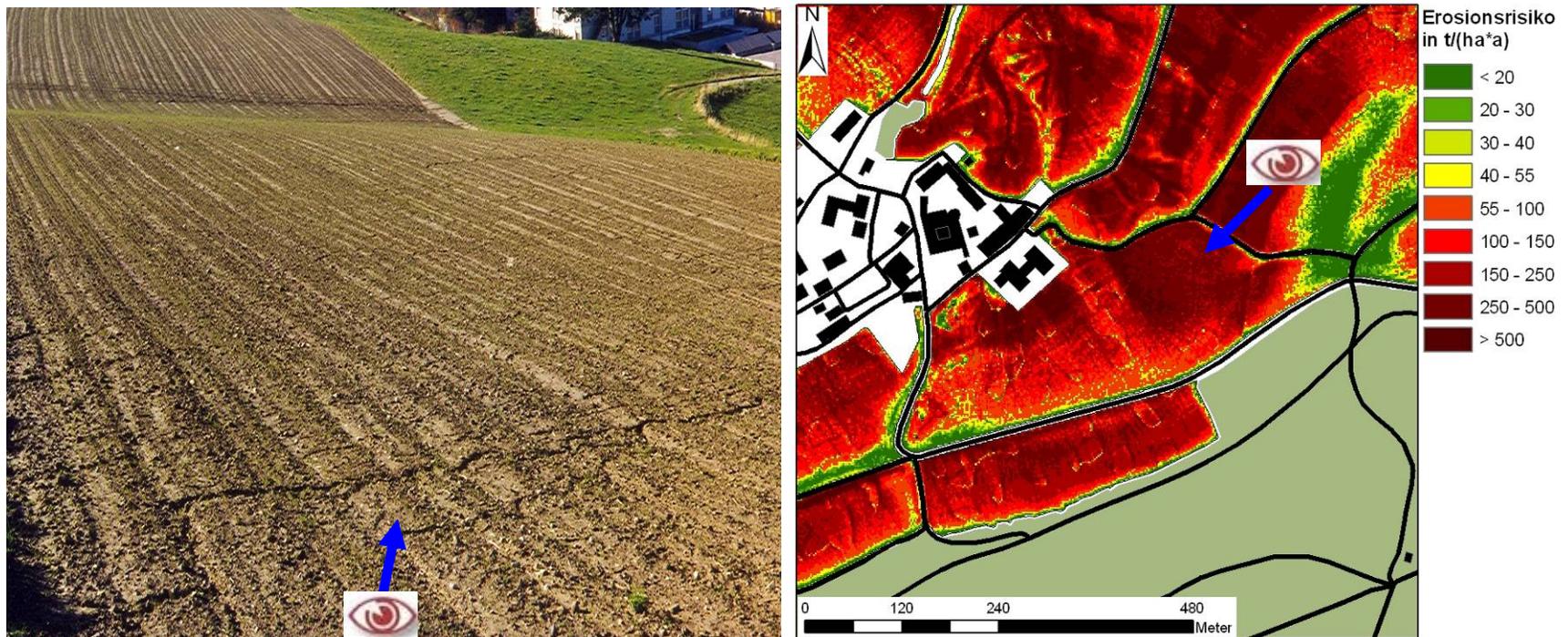


Abb. 6.13: Vergleich von Foto und modelliertem Erosionsrisiko. Geländemulde an einem steilen Querhang. Die Mulde ist auch im Modell gut erkennbar (Wechsel zwischen roten und dunkelroten Bereichen). Quelle: eigene Darstellung, Foto Volker Prasuhn (ART).

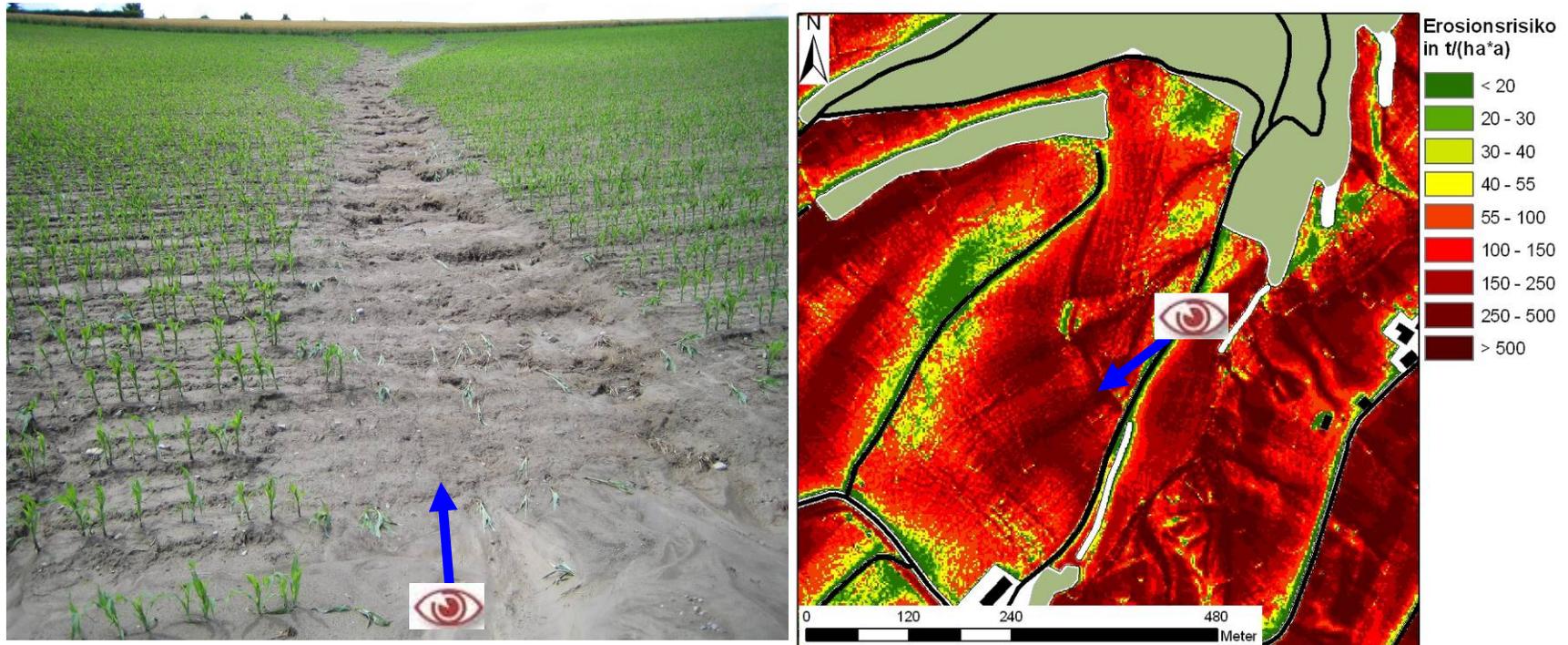


Abb. 6.14: Vergleich von Foto und modelliertem Erosionsrisiko. Die typische Geländemulde mit Talwegerosion in einem Feld in früher Wachstumsphase (Mais). Der Bewuchs reicht noch nicht aus, um der erosiven Kraft des Wassers stand zu halten. Die Geländemulde ist in der Karte ebenfalls deutlich zu erkennen. Quelle: eigene Darstellung, Foto Volker Prasuhn (ART).

## 7. WEITERE ANALYSEN

### 7.1 Berechnen von Statistiken auf der Basis von rec\_eros\_xxx

Statistische Auswertungen können vor allem für den Vollzug interessant sein. So kann man z.B. prüfen, ob ein bestimmter Schwellenwert auf einer definierten Flächeneinheit überschritten wird. Mögliche Schwellenwerte können z.B. prozentuale Anteile an Pixel in einer bestimmten Klasse sein, absolute Flächenanteile einer Klasse oder eine Kombination davon. Man kann also leicht herausfinden, ob z.B. auf einer Parzelle, einem Feldblock oder in einer Gemeinde etc. mehr als 50% (oder irgendein anderer Prozentsatz) oder mehr als 1 ha (oder irgendeine andere Flächengröße) erosionsgefährdet ist.

Für die Auswertung kann ein beliebiger Polygon- oder Rasterdatensatz (integer) verwendet werden. Der Feldblockplan ist eine Möglichkeit, ein eigener Parzellenplan wäre eine andere. Des Weiteren können auch Gemeinde-, Bezirks- oder Kantonsgrenzen verwendet werden. Die Datensätze müssen über eine Attributtabelle verfügen mit einem Feld, welches die einzelnen Zonen eindeutig identifizieren lässt. Falls die Datensätze nicht ganz deckungsgleich sind, werden nur die Pixel ausgewertet, welche tatsächlich in den bereitgestellten Zonen liegen.

#### Vorgehen:

- Gewünschte Polygone markieren (es wird nur für die Auswahl eine Auswertung gemacht)
- Um später eine direkte Abfrage der Werte über den Identifier zu ermöglichen, empfiehlt es sich, die markierten Polygone über „Select“ auszuschneiden
  - o Oder Rasterdatensatz bereitstellen
- Den entsprechenden „rec\_eros\_xxx“ Datensatz laden
  - o Falls eine Analyse über ein grösseres Gebiet gemacht werden soll, müssen die entsprechenden Kacheln vorgängig mosaikiert werden

Die Funktion „Tabulate Area“ starten

- Input raster or feature zone data: Polygon- oder Rasterdatensatz
  - o Beim Polygon den mit „Select“ hergestellten Datensatz nehmen
- Zone field: ein Feld, welches eine eindeutige Zuweisung der Zonen zulässt z.B. FID
- Input raster or feature class data: rec\_eros\_xxx oder mosaikierte Kacheln
- Class field: Value (default)
- Output table: Ordner und Namen für die Tabelle
- Processing cell size: 2
- Environments: hier kann im Register „General Settings“ als „Snap Raster“ der entsprechende rec\_eros\_xxx Datensatz angegeben werden

- OK

Im Table of Content kann (unten links) der Tab „Source“ aktiviert werden. Nun sollte die berechnete Tabelle ersichtlich sein.

- Rechtsklick: Open

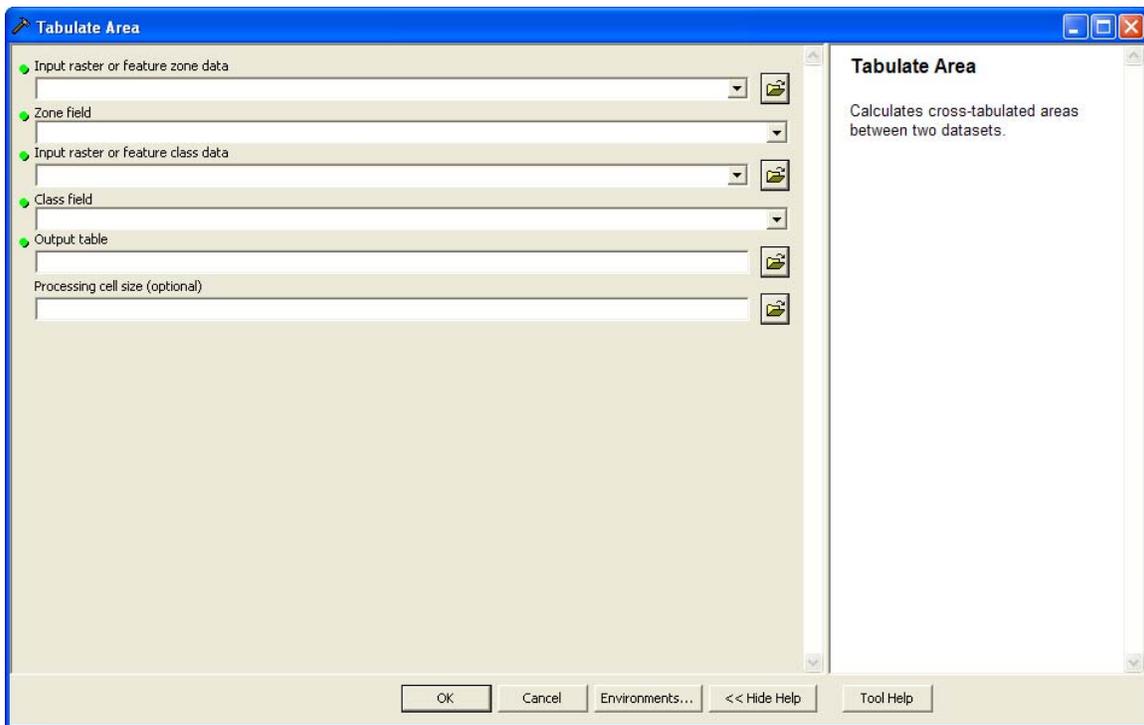


Abb. 7.1: Tabulate Area: Erstellt eine Kreuztabelle zwischen zwei Datensätzen. Quelle: Screenshot ArcMap 9.3 ESRI

Um die Tabelle mit dem erstellten Polygondatensatz zu verbinden, kann die Funktion „Join Field“ aufgerufen werden.

Hier kann man über das gewählte „Zone field“ die zwei Tabellen miteinander verbinden. Dies erlaubt einem danach mit dem „Identifyer“ ein entsprechendes Polygon auszuwählen und sofort dessen Werteverteilung (Klassen 1, 2, 3) zu sehen.

 = Identifyer

- Input Dataset: Polygondatensatz
- Input Join Field: das gewählte „Zone field“ von vorher z.B. FID
- Join Table: die berechnete Tabelle aus „Tabulate Area“
- Output Join Field: das entsprechende „Zone field“, das gewählt worden ist

- Join Fields (optional): Hier können die zusammenzufügenden Felder gewählt werden. Empfehlung: Value\_1, Value\_2, Value\_3. Diese entsprechen den Klassen 1, 2, 3.
- OK
- Die Tabellen werden verbunden und die Attributtabelle des Polygondatensatzes enthält nun die zusätzlichen Daten zur Flächenverteilung in den Klassen.
  - o Die Werte sind in m<sup>2</sup> angegeben

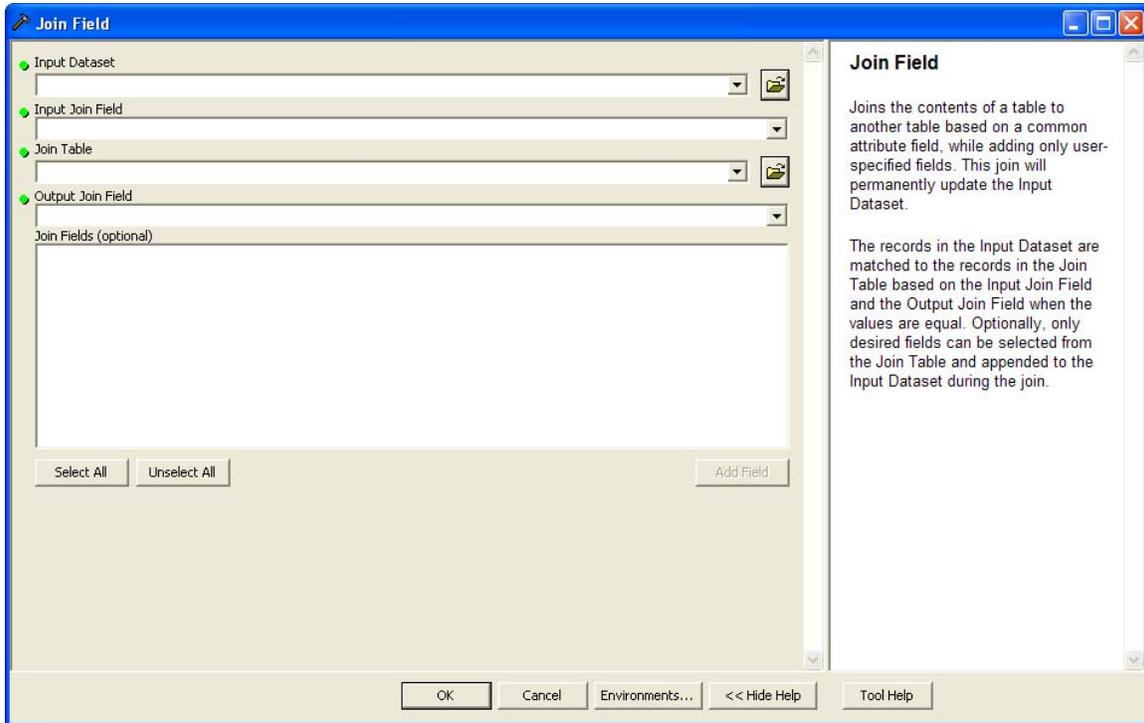


Abb. 7.2: Join Field: Verbindet zwei Tabellen über ein gemeinsames Identifizierungsfeld. Quelle: Screenshot ArcMap 9.3 ESRI

Zahlenwerte geben Fläche in m<sup>2</sup> an, 1 Pixel = 4m<sup>2</sup> (2x2m). Sie stimmen nicht exakt mit den Flächen der Feldblockkarte überein, da es Differenzen bei der Umwandlung Vector-to-Raster während des Prozesses gibt. Diese Abweichungen sind aber vernachlässigbar.

## **7.2 Ausschneiden der Gebiete der Bergzonen I und II oder des Ackerlandes**

Das Berechnungsgebiet für die ERK2 wurde auf das Gebiet der Landwirtschaftlichen Zonengrenzen bis Bergzone II beschränkt. Bergzone III und IV und die Sömmerungsgebiete, sowie Obst- und Gartenbau und Pufferstreifen wurden von der Berechnung ausgeschlossen. Um das Gebiet weiter zu reduzieren und z.B. auf die Tal- und Hügelzone zu beschränken, kann folgendes Vorgehen gewählt werden:

Grundlage:

- ERK2 für das entsprechende Gebiet
- Datensatz der Landwirtschaftlichen Zonengrenzen (swisstopo)

Vorgehen:

- markieren der gewünschten Zonen der Landwirtschaftlichen Zonengrenzen, welche noch enthalten sein sollten, z.B. Talzone (31) und Hügelzone (41)
  - o dies kann über die Attributtabelle und „Select by Attribute“ gemacht werden, z.B. LZ0\_ID <= 41
- Funktion „Extract by Mask“
  - o Input Raster: eros\_z\_xxx oder rec\_eros\_xxx
  - o Input raster or feature mask data: Landwirtschaftliche Zonengrenzen
  - o Output raster: Ordner und Name des neuen Rasters, z.B. rec\_eros\_mask
- OK

**Achtung: Es entsteht dann ein Raster, welcher nur diejenigen Gebiete zeigt, welche innerhalb der gewählten Zonen liegen. Es kann dabei vorkommen, dass Feldblöcke verschnitten werden. Darauf ist bei der Analyse zu achten.**

Tipp: Auf ähnliche Weise könnte man z.B. auch das Erosionsrisiko nur auf dem Ackerland generieren, sofern Unterlagen vorhanden sind, die eine Unterteilung einzelner Feldblöcke oder Parzellen in Ackerland und Dauergrünland ermöglichen. Soll dann z.B. das Dauergrünland ausgeschnitten werden, muss man wie folgt vorgehen:

- Entsprechendes Feld in der Attributtabelle generieren, welches z.B. Dauergrünland und Ackerland unterscheidet.
- Alle Ackerlandparzellen markieren
- Funktion „Extract by Mask“ starten und diesen Datensatz als „Feature mask data“ angeben
- OK

So erhält man als Resultat einen Rasterdatensatz, welcher das Erosionsrisiko nur auf den Ackerlandparzellen zeigt.

### **7.3 Individuelle Farbanpassung von eros\_z\_xxx**

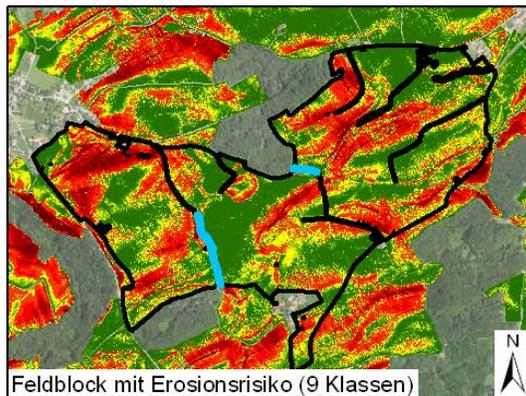
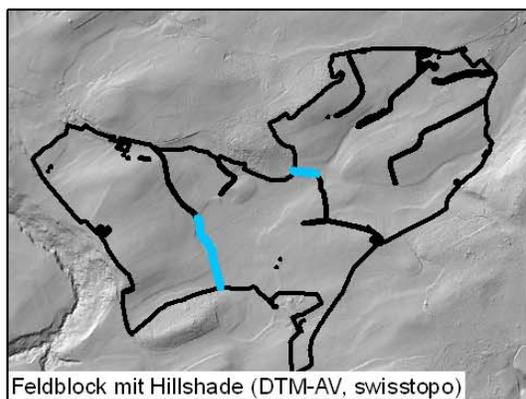
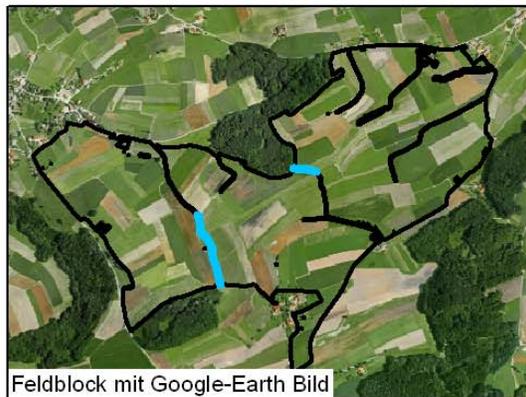
Es wird empfohlen, die vorgeschlagene Klassierung und Farbgebung zu verwenden (eros\_z\_xxx.lyr). Es besteht aber die Möglichkeit, die Daten nach eigenen Wünschen darzustellen.

Grundlage: eros\_z\_xxx

- Doppelklick auf den Raster im Table of Content
- Tab „Symbology“
- Auswahl „Stretched“ oder „Classified“
  - o Unter „**Stretched**“ können fließende Farbübergänge gewählt werden. Es besteht auch die Möglichkeit eine Farbdarstellung mit fließenden Übergängen vom Minimum zum Maximum des sichtbaren Bereichs vorzunehmen (Type: Minimum-Maximum, Statistics: From Current Visible Extent). Minimum- und Maximumwert sind manuell anpassbar.
  - o „**Classified**“ bietet die Möglichkeit die Karte anhand definierter Klassengrenzen darzustellen (analog zu eros\_z\_xxx.lyr). Dabei kann angegeben werden wie viele Klassen es geben soll, wo die Grenzen sind und in welcher Farbe die einzelnen Klassen dargestellt werden. Dies kann nach den individuellen Vorstellungen und Bedürfnissen gemacht werden (Classes: Anzahl wählen; Classify: festlegen der Grenzwerte).

**Achtung: Die Werte hinter der Darstellung sind immer die gleichen, jedoch kann sich das Erscheinungsbild je nach Farbwahl und Darstellungsoptionen stark unterscheiden und der optische Eindruck dadurch beeinflusst werden (vgl. Anhang 1).**

## 7.4 Unterteilung eines grossen Feldblocks



0 500 1'000 2'000  
Meter

Erosionsrisiko in  $t/(ha \cdot a)$



Die statistische Auswertung der Feldblockgrösse in Kapitel 3.1.4 (Abb. 3.1) hat gezeigt, dass einige sehr grosse Feldblöcke ( $>100$  ha) vorkommen. Diese sind für statistische Auswertungen der Erosionsgefährdung (wie in Kapitel 7.1 beschrieben) oder für die Massnahmenplanung ungeeignet. Die Abbildung zeigt ein Beispiel eines sehr grossen Feldblocks mit einer Fläche von 161 ha. Solche Feldblöcke entstehen, wenn nicht alle Wege, welche einzelne Anbauparzellen unterteilen, in Vector25 enthalten sind, oder in Grenzgebieten zum Ausland oder zur Bergzone III die Datengrundlagen nicht mehr vorhanden waren. Die grössten Feldblöcke kommen somit auch im Grenzgebiet vor und sind meist nur teilweise berechnet worden, da das DTM-AV nicht den ganzen Feldblock abdeckt. Bei solchen Gebilden ist bei der Beurteilung Vorsicht geboten.

Abb. 7.3: Unterteilung eines grossen Feldblock. Die Abbildung zeigt einen grossen Feldblock mit möglichen Unterteilungen (blaue Linien). Hinterlegt mit Google-Earth Bild (oben), Hillshade aus DTM-AV (swisstopo, Mitte) und ERK2 (unten). Quelle: eigene Darstellung.

Im vorliegenden Beispiel kann zur einfacheren Analyse der Feldblock an geeigneten Stellen unterteilt werden. Eine weitere Möglichkeit wäre auch einen Parzellenplan darüber zu legen und die Auswertung anhand dessen zu machen. **Möglichkeiten einer Aufteilung (blaue Linien) bieten sich entlang des Gefälles, in Ebenen oder an Kuppen.** An diesen Stellen ist keine oder nur eine minimale Beeinflussung seitlich benachbarter Pixel zu erwarten. Dadurch wird das Resultat der Erosionsberechnung mit AVErosion nicht beeinträchtigt und es ist keine Neuberechnung nötig. Eine Unterteilung eines Hanges quer zum Gefälle ist dagegen nicht zulässig, da dies die Erosionsberechnung massiv beeinflussen kann. Hier wäre eine Neuberechnung mit AVErosion nötig.

Eine statistische Analyse kann - wie oben erwähnt - ebenfalls auf kleineren Unterteilungen erfolgen (z.B. Parzellenplan). Diese werten das bestehende Resultat lediglich auf einer anderen Basis aus und verändern die berechneten Werte nicht.

Existieren jedoch neue Wege oder Strukturen, die Nachbarschaftsbeziehungen von Pixeln beeinflussen, so wäre eine Neuberechnung mit AVErosion nötig, da diese Strukturen Auswirkungen auf das potentielle Erosionsrisiko haben können.

## **7.5 Rebflächen**

Als einziger Landnutzungslayer lassen sich die Rebflächen separat betrachten oder ausschneiden, da diese in Vector25 als eigene Kategorie vorhanden sind. Will man also nur die Rebflächen betrachten (oder nur das Gras- und Ackerland ohne Reben), muss wie folgt vorgegangen werden:

Grundlage: Feldblockkarte\_CH.shp

- öffnen der Attributtabelle (Rechtsklick auf Layer → Open Attribute Table)
- unter Options → Select by Attributes...
- Doppelklick auf "OBJECTVAL"
- "=" klicken
- ‚Z\_Reben‘ eingeben (mit Apostroph)
- So werden alle Rebflächen markiert und man sieht sie im Layer
- nun kann man spezielle Auswertungen auf Basis der Rebflächen machen oder man kann die Rebflächen aus der ERK2 eliminieren
- hierzu kann man unter Option → Switch Selection klicken, damit werden alle Flächen der Kategorie „Z\_Uebrig“ markiert (Acker-, Wiese- und Weideflächen)
- nun kann man diese Flächen analog zu Kapitel 7.2 ausschneiden und hat somit nur noch diese Gebiete ohne Reben
- oder man schneidet analog dazu (ohne Switch Selection) nur die Rebflächen aus und hat dann das spezifische Erosionsrisiko der Rebflächen.

**Achtung: Wegen der speziellen Verhältnisse im Rebbau (Terrassierung, Kleinparzellierung, Steilheit etc.) sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu verwenden. Das verwendete Modell wurde für Rebflächen nicht validiert oder überprüft.**

## 8. AUSBLICK

### 8.1 Detaillierung bzw. Optimierung der ERK2

Die Herstellung der ERK2 im Auftrag des BLW war nach der Karte von FRIEDLI (2006) ein Versuch, mit deutlich besser aufgelösten Grundlagendaten das schweizweite Erosionsrisiko zu modellieren. Da es die Datengrundlage immer noch nicht zulässt, das aktuelle Erosionsrisiko auf den effektiv ackerbaulich genutzten Parzellen zu modellieren, musste auf die derzeit zur Verfügung stehenden Daten zurückgegriffen werden. Daraus resultierte die vorliegende Lösung mit der Berechnungsbasis „Feldblock“ und der Abschätzung des „potentiellen“ Erosionsrisikos. Die aktuelle Bewirtschaftung der Feldblöcke wurde somit ausgeklammert. Die Feldblockkarte deckt die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) ohne Bergzone III, IV und Sömmerungsgebiet, sowie Obstanlagen und Pufferstreifen ab. Sie beinhaltet somit eine Vielzahl von Flächen, welche auf Grund ihrer permanenten Bedeckung (Wies- und Weideland) für die Erosionsproblematik nicht so relevant sind. Während der Ansatz mit den Feldblöcken im Vergleich zu Anbauparzellen grundsätzlich keine nennenswerten Nachteile bringt, ist die ungenügende Abgrenzung der relevanten Flächen (Ackerparzellen) ein, vor allem für die optische Aussage der Karte, hindernder Umstand. **Die vielen steileren Feldblöcke in den Voralpen und im Jura, welche grösstenteils als Wies- und Weideland genutzt werden, geben der Karte eine sehr strenge Note (sehr viele rote Flächen).**

Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wären Datensätze nötig, welche das Ackerland (oder potentielles Ackerland) von der restlichen LN abgrenzen lassen. Diese Daten sind zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vorhanden, befinden sich aber teilweise in Bearbeitung (GELAN usw.). Mit diesen Daten könnten die nicht relevanten Flächen eliminiert werden. Die Aussagekraft der ERK2 würde dadurch noch gesteigert. Des Weiteren würden flächendeckende Aussagen über die vorherrschende Bewirtschaftung einzelner Anbauparzellen eine Beurteilung der „effektiv“ gefährdeten Gebiete massgeblich vereinfachen. Falls digitale Daten zu Anbauparzellen und Ackernutzung vorliegen, ist technisch eine Verschneidung mit dem bestehenden Datensatz möglich (siehe Kapitel 7.2).

Die umfassende Modellierung der gesamten LN anstatt des Ackerlandes hat aber auch Vorteile. Sollten Dauergrünlandflächen in Ackerland umgewandelt werden, wären in einer reinen Ackerlandkarte keine Grundlagen vorhanden, ob diese Parzellen erosionsgefährdet sind oder nicht. Somit gäbe es keine Hinweise, ob eine Umwandlung aus Sicht des Erosionsschutzes zu verantworten wäre. Weiterhin ist auf potentiell erosionsgefährdeten Parzellen auch bei Dauergrünlandnutzung Bodenabtrag nicht völlig ausgeschlossen. Bei nicht angepasster Dauergrünlandbewirtschaftung (z.B. Überweidung, lückige Grasnarbe, Bodenverdichtung etc.) ist auch im Dauergrünland Bodenerosion möglich.

Nachtrag:

Falls ausreichende Daten zur Bodenbewirtschaftung und –bearbeitung einzelner Anbauparzellen vorliegen, können mit dem Erosionsschlüssel von MOSIMANN & RÜTTIMANN (2002, 1999) C-Faktoren berechnet werden. Diese können für die untersuchten Parzellen in Rasterform hergestellt werden und mit dem Resultat der ERK2 multipliziert werden. So erhält man den effektiven langjährigen mittleren Bodenabtrag in  $t/(ha \cdot a)$ . Zur Ermittlung der C-Faktoren nach erwähntem Schlüssel sind Informationen über die Fruchtfolge, Anbaumethoden, Aussaatzeitpunkte und Zwischenfrüchte über mehrere Jahre notwendig. Zu erwähnen ist auch, dass die dabei entstehenden Resultate in ihrem absoluten Wert eher zu einer Überschätzung tendieren (vgl. GISLER 2009).

**8.2 Aktualisierung der Karte**

Eine Neuberechnung der Erosionsgefährdung mit AVErosion ist notwendig, wenn sich die Berechnungsgrundlage – die Feldblockgrösse – ändert. Bei einer neuen, aktualisierten Version von VECTOR25 bzw. dem neuen Landschaftsmodell TLM dürften sich diverse Feldblockgrössen ändern, was eine komplette Neuberechnung der Schweiz nötig machen würde. Ändert sich die Grösse eines einzelnen Feldblockes (z.B. durch Neuanlage oder Aufgabe einer Strasse oder Hecke, oder die Feldblockgrösse ist in VECTOR25 nicht korrekt abgebildet), ist streng genommen eine Neuberechnung für diesen Feldblock notwendig. Findet diese Änderung des Feldblockes an einer kaum erosionsrelevanten Stelle statt (z.B. auf einer ebenen Fläche oder in Gefällsrichtung), ist mit keiner grossen Änderung der Erosionsgefährdung zu rechnen und eine Neuberechnung ist nicht zwingend notwendig. Wird aber eine Strasse oder Hecke quer zum Hang durch den Feldblock angelegt, verändert sie die erosive Hanglänge, was grossen Einfluss auf die Erosionsgefährdung - vor allem unterhalb der neuen Struktur – hat und eine Neuberechnung zwingend notwendig macht.

Ändert sich das digitale Höhenmodell, ist ebenfalls eine Neuberechnung mit AVErosion notwendig. Dies kann vor allem für Feldblöcke, in denen Fehler im verwendeten digitalen Höhenmodell an den Blattgrenzen vorhanden sind, relevant sein (siehe Kapitel 3.2.1).

Eine Aktualisierung der Karte kann weiterhin in verschiedenen Situationen Sinn machen.

- Neue Grundlagen zu K- oder R-Faktor
- Neue Datengrundlagen zum C-Faktor (Bodenbedeckung- und –bearbeitung) oder zur Lage von Anbauparzellen, effektivem Ackerland usw.

In diesen Fällen ist keine Neuberechnung mit AVErosion notwendig. Die Änderungen können im bestehenden Datensatz vorgenommen werden (vgl. Kapitel 4.2.2 und 7.2).

In absehbarer Zeit stehen das neue topographische Landschaftsmodell TLM (swisstopo) sowie ein flächendeckender digitaler Parzellenplan (ab 2015) in Aussicht. Diese Daten könnten für eine allfällige Aktualisierung oder Überarbeitung der ERK2 nützlich sein.

### **8.3 Software AV-Erosion 1.0**

Die verwendete Software AV-Erosion 1.0 (SCHÄUBLE 1999, 2004) ist eine Extension für ArcView 3.x. Da ArcView 3.x ein veraltetes Programm ist und durch ArcMap abgelöst wurde (aktuelle Version ArcMap 9.3), stellt sich die Frage, wie lange man den Betrieb von AV-Erosion noch gewährleisten kann. ArcView 3.x wird seit längerem nicht mehr supported und bei den Berechnungen stösst man auch immer wieder an Kapazitätsgrenzen. Deshalb wurde auch der Versuch unternommen, eine Umprogrammierung auf die neuere Version ArcMap 9.3 zu lancieren. Dieses Unterfangen - zusammen mit der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft TLL (Dr. Ralf Bischoff) - musste aber von unserer Seite her aus zeitlichen und technischen Gründen verworfen werden. Es bleibt die Überlegung, ob es für zukünftige Aktualisierungen der ERK2 nicht sinnvoll wäre, dieses Vorhaben wieder aufzugreifen, um die Weiterführung des Produktes zu gewährleisten und den ganzen Prozess zu vereinfachen. Die TLL wäre hierzu sicherlich ein geeigneter und gewillter Partner, da sie in der Umsetzung der Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung und der Erosionsproblematik seit längerem auf die Software AV-Erosion setzt.

## 9. LITERATURVERZEICHNIS

- BAFU & BLW (2008). Neue Vollzugshilfe für den Umweltschutz in der Landwirtschaft – Rundschreiben über den Stand der Arbeiten (Mai 2008). URL: [http://extranet.kvu.ch/files/documentdownload/090115190059\\_Rundschreiben\\_Nr\\_1\\_deutsch.pdf](http://extranet.kvu.ch/files/documentdownload/090115190059_Rundschreiben_Nr_1_deutsch.pdf).
- BISCHOFF, R. & GULLICH, P., (2009). Erosionsschutz in der Thüringer Landwirtschaft. 3. Sächsisch-Thüringische Bodenschutztag Erfurt, 106-112.
- BISCHOFF, R., EBENAU, S., GULLICH, P., MICHEL, J. & Zorn, W. (2009). Identifizierung wirksamer Massnahmenkulissen zur Umsetzung der WRRL – Abschätzung der erosionsbedingten Phosphor-Austräge aus Ackerflächen. – Fachstandpunkte der TLUG Nr. 12, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Jena, 18 S.
- BLW (2009). Agrarbericht 2009 des Bundesamtes für Landwirtschaft. URL: <http://www.blw.admin.ch/dokumentation/00018/00498/index.html?lang=de>. Stand: 13.11.2009.
- BURGOS, ST., NOLL, D. (2010). Etude des risques d’Erosion et de transfert de pesticides – Zone d’étude d’Avenches et environs. Ecole d’ingénieurs de Changins.
- CHISHOLM, M. (2008). Analyse der Bodenerosion mit der AVErosion-Extension für ArcView. Diplomarbeit, Geographisches Institut Bern, Abteilung Entwicklung und Umwelt (CDE).
- DIN 19708 (2005): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG.
- DIREKTZAHLUNGEN-VERPFLICHTUNGENVERORDNUNG (DirektZahlVerpflV) - Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand. Stand 20. April 2010. URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/direktzahlverpflv/BJNR277800004.html>.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION – Landwirtschaft und ländliche Entwicklung. Cross-Compliance – Erfüllung von Umweltschutzaufgaben. URL: [http://ec.europa.eu/agriculture/envir/cross-compliance/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/envir/cross-compliance/index_de.htm). Stand: 18.3.2010.
- FRIEDLI, S. (2006). Digitale Bodenerosionsgefährdungskarte der Schweiz im Hektarraster – Unter besonderer Berücksichtigung des Ackerlandes; CDE Universität Bern
- GASSMANN, S. (2010). Appréciation du risque d’érosion des sols agricoles et proposition de mesures de lutte – Exemple sur un site pilote à Avenches (VD). Master Thesis 2010, MAS Umwelttechnik und –management. Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Life Sciences.
- GBI Nr 9 (22. Juni 2010). Verordnung des Ministeriums für Ländlichen Raum, Ernährung und Verbraucherschutz zur Einteilung landwirtschaftlicher Flächen nach dem Grad der Erosionsgefährdung (Erosionsschutzverordnung – ErosionsSchV). Stuttgart, 29. Mai 2010. URL: [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1309128\\_11/29.05.2010%20%20Erosionsschutzverordnung%20%20\(ErosionsSchV\).pdf](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1309128_11/29.05.2010%20%20Erosionsschutzverordnung%20%20(ErosionsSchV).pdf)
- geodata © swisstopo. Bundesamt für Landestopographie.

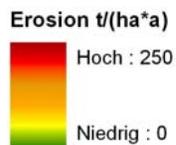
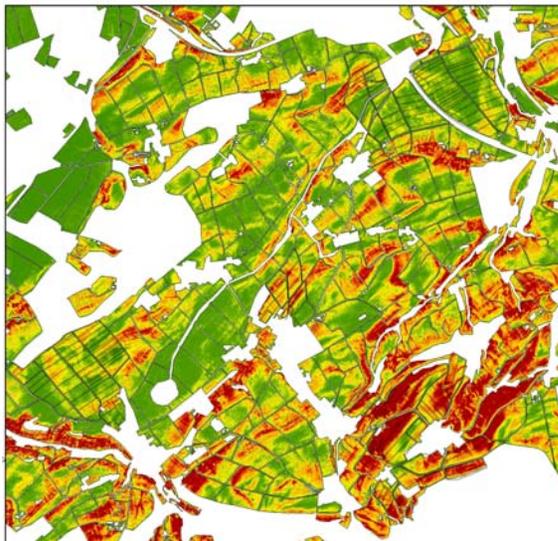
- GISLER, S. (2009). Erosionsabschätzung und Massnahmenplanung mit der ArcView Extension AVErosion im Gebiet Frienisberg – Auswirkungen von parzellenscharfen Faktordaten. Masterarbeit, Geographisches Institut Bern, Abteilung Entwicklung und Umwelt (CDE).
- © 2007 GOOGLE™. Google-Earth Bilder.
- HENSEL H., BORK H.-R. (1988); Computer aided Construction of Soil Erosion and Deposition maps; Geologisches Jahrbuch, Reihe A, Jg. 1988, Heft 104: 357- 371
- KIP & PIOCH Hrsg. (2009). Pufferstreifen – richtig messen und bewirtschaften. Furrer St., Niederberger, H., Gilg R., Steiger R., Forni D., Keller L., Vaudroz P., Simonin P., Charollais M., Aeschbacher S., Niffenegger L.. Agridea, 8315 Lindau.
- LANDESREGIERUNG SCHLESWIG-HOLSTEIN – Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein. URL: [http://www.schleswig-holstein.de/Umwelt\\_Landwirtschaft/DE/LandFischRaum/02\\_\\_Flaechenkataster/01\\_\\_Einfuehrung/ein\\_\\_node.html](http://www.schleswig-holstein.de/Umwelt_Landwirtschaft/DE/LandFischRaum/02__Flaechenkataster/01__Einfuehrung/ein__node.html).
- LEDERMANN, T., HERWEG, K., LINIGER, H.P., SCHNEIDER, F., HURNI, H., PRASUHN, V., (2008). Erosion damage mapping: assessing current soil erosion damage in Switzerland. In: Dazzi, C., Costantini, E. (Eds.). The soils of tomorrow. Advances in GeoEcology 39, Reiskirchen, pp. 263-284.
- LEDERMANN, T., HERWEG, K., LINIGER, H.P., SCHNEIDER, F., HURNI, H., PRASUHN, V., (2010). Applying erosion damage mapping to asses and quantify off-site effects of soil erosion in Switzerland. Land Degradation Development 21, 353-366.
- MOSIMANN, TH. & RÜTTIMANN, M. (2002). Erosion CH V2.02 : Bodenerosion selber abschätzen – Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. Terragon Ecoexperts AG, Bubendorf.
- MOSIMANN, TH. & RÜTTIMANN, M. (1999). Bodenerosion selber abschätzen - Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater; Ackerbaugebiete des zentralen Mittellandes. Hrsg.: Finanzdepartement Aargau; Abteilung Landwirtschaft, Abteilung Umwelt und Landwirtschaft des Kantons Bern, Militär-, Polizei- und Umweltdepartement des Kantons Luzern; Amt für Umweltschutz, Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Luzern; Landwirtschaftsamt, Amt für Umweltschutz und Amt für Landwirtschaft des Kantons Solothurn.
- NOLL, D. (2009). Appréciation des risques de transfert de pesticides : Exemple du N-E du bassin versant du Boiron de Morges (Canton de Vaud/Suisse). Mémoire de Master. Ecole d'ingénieurs de Changins.
- NOLL, D. , DAKHEL, N., BURGOS, S. (2010). Beurteilung der Transferrisiken von Pestiziden durch Oberflächenabfluss. Agrarforschung Schweiz 1 (3): S. 110-117.
- PRASUHN, V. (2010): Soil erosion in the Swiss midlands – results of a 10-year field survey. Geomorphology.
- PRASUHN, V. & GRÜNIG, K. (2001). Evaluation der Ökomassnahmen – Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. Eidgenössische Forschungsan-

- stalt für Agrarökologie und Landbau Zürich-Reckenholz (FAL), Schriftenreihe der FAL 37.
- PRASUHN, V., LINIGER, H.P., HURNI, H., FRIEDLI, S (2010): Abschätzung des Bodenfaktors für die Übersichtskarte der Bodenerosionsgefährdung der Schweiz. Bulletin BGS 30, 31-36.
- RÜTTIMANN, M., VÖKT, U., EMCH, N. (2005a). Hinweiskarte 1:25'000 der erosionsbedingten Bodengefährdung im Kanton Solothurn - Grundlagen und Prognosemodell: Amt für Umwelt, Kanton Solothurn.
- RÜTTIMANN, M. (2005b). Hinweiskarte 1:25'000 der erosionsbedingten Bodengefährdung im Kanton Genf.
- RÜTTIMANN, M., MOSIMANN, T. (2004). Hinweiskarte der erosionsbedingten Bodengefährdung im Luzerner Mittelland 1:25'000; Kanton Luzern, Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement; © Geoinformation Kanton Luzern
- 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. URL: [http://www.terracs.com/averosion\\_deu.pdf](http://www.terracs.com/averosion_deu.pdf)
- SCHÄUBLE, H. (1999). Erosionsprognosen mit GIS und EDV – Ein Vergleich verschiedener Bewertungskonzepte am Beispiel einer Gäulandschaft. Diplomarbeit, Geographisches Institut Eberhard-Karls-Universität, Tübingen.
- SWISSTOPO - VECTOR25 © 2009 Bundesamt für Landestopographie.
- SWISSTOPO (2008). Vector25 Release. URL: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/downloads/landscape/vector25.parsys.63978.downloadList.94726.DownloadFile.tmp/vector25release2008v10de.pdf>
- SWISSTOPO (2007). Geodata-news, Nr. 14 (2007). URL: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/docu/pub/topography/geodatanews.parsys.1829.downloadList.48896.DownloadFile.tmp/gn142007defr.pdf>.
- SWISSTOPO (2007). Vector25 – Das digitale Landschaftsmodell der Schweiz, Produktionsinformation. URL: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/vector25.parsysrelated1.47641.downloadList.50692.DownloadFile.tmp/vector25infode.pdf>.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses – a Guide to Conservation Planning. U.S. Dep. of Agriculture, Handbook No. 537. Washington. URL: [http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ad\\_hoc/36021500USLEDatabase/AH\\_537.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ad_hoc/36021500USLEDatabase/AH_537.pdf). Zugriff: 4. Nov. 2008.

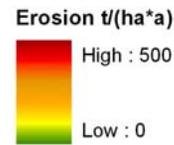
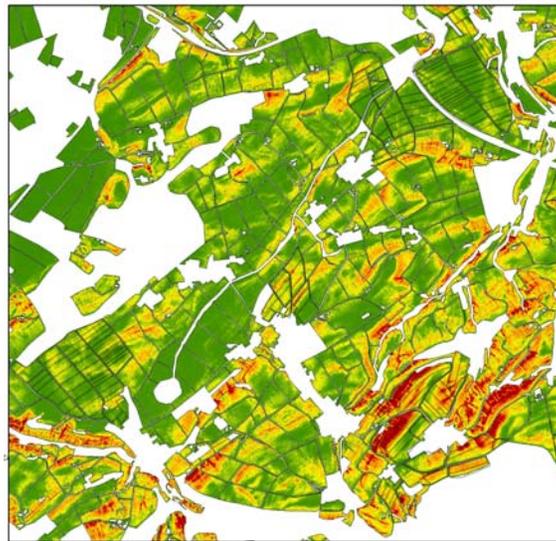
## ANHANG

Anhang 1: Gegenüberstellung verschiedener Darstellungsmöglichkeiten der Erosionsrisikokarte. Die zu Grunde liegenden Daten sind immer dieselben, jedoch wurde für die Farbgebung mit fließenden Werten der Maximalwert anders gesetzt. Das heisst bei der Abbildung links werden alle Pixel mit Werten über 250 dunkelrot dargestellt, während sie in der Abbildung Mitte und links erst ab 500 resp. 750 dunkelrot eingefärbt werden. Daraus resultieren drei sehr unterschiedliche Karten, welche aber immer noch dieselben Zahlenwerte beinhalten. Bei der Wahl einer individuellen Farbwahl und –einteilung ist somit Vorsicht geboten, da diese die Wahrnehmung sehr stark prägen kann.

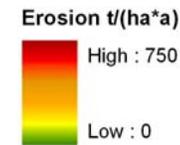
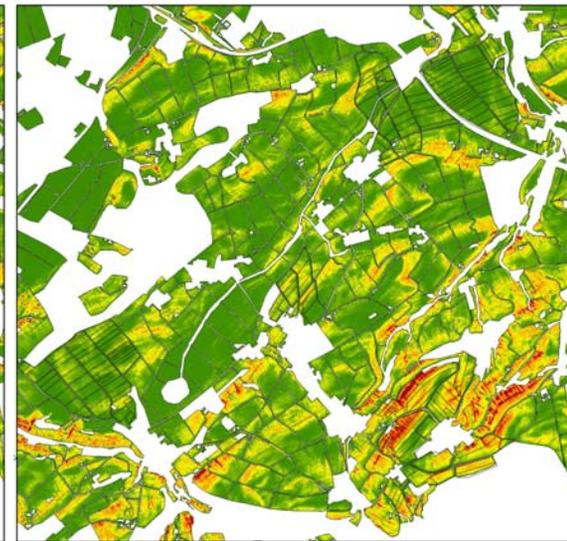
Frienisberg - fließend Max. 250



Frienisberg - fließend Max. 500

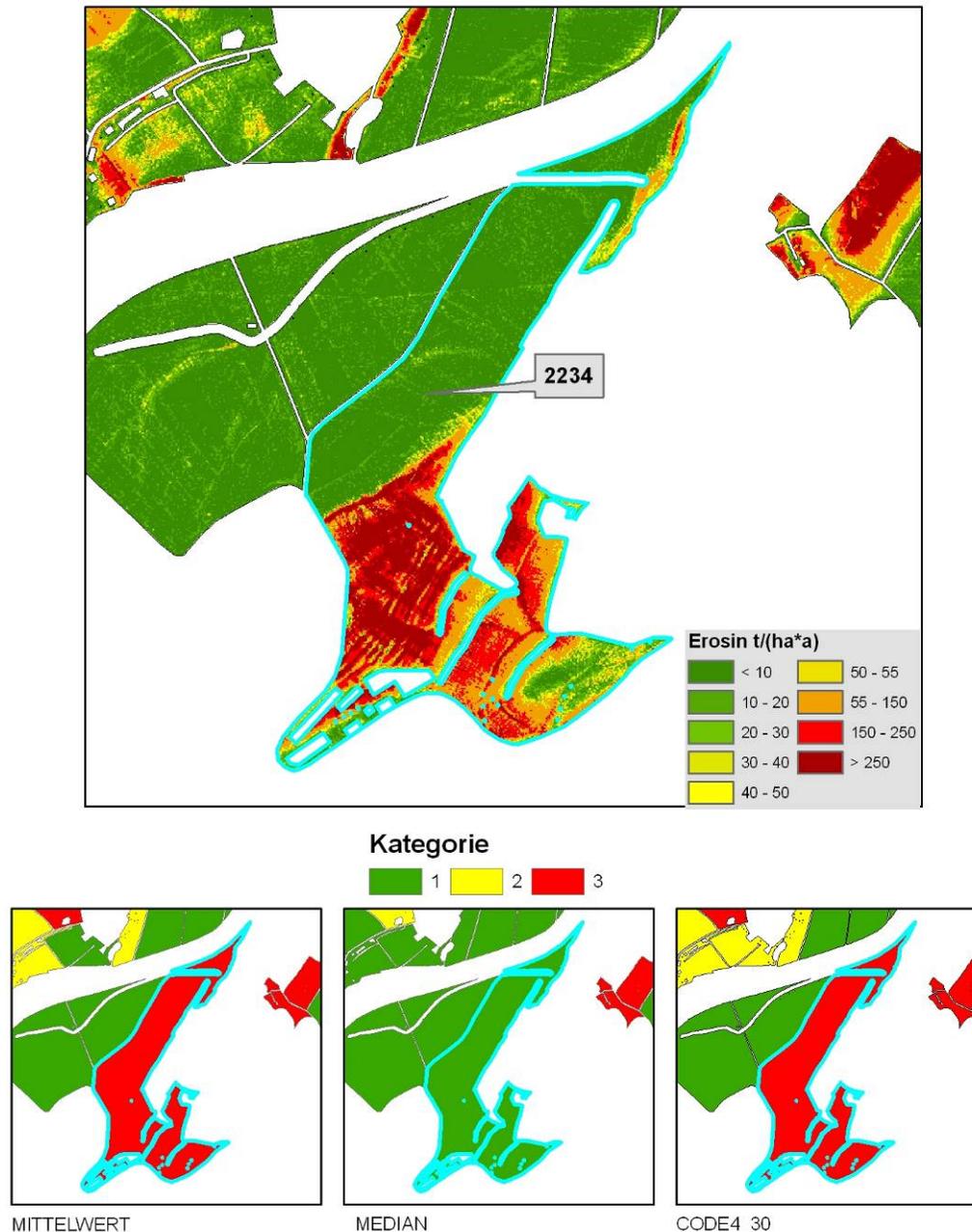


Frienisberg - fließend Max. 750



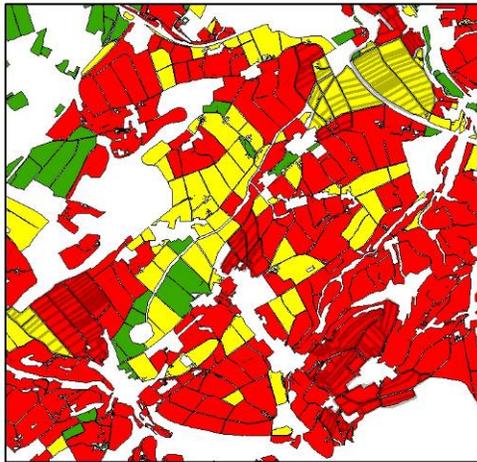
Anhang 2: Vergleich verschiedener Ansätze, um ganze Feldblöcke in Gefährdungsklassen einzuteilen. Dieser Ansatz einer Feldblockeinteilung wurde bis auf weiteres verworfen. Die Abbildungen zeigen das modellierte Erosionsrisiko (oben) und die Beurteilung des ganzen Feldblockes (2234) mit verschiedenen Ansätzen (unten). Unten links: der Mittelwert aller Pixel im Feldblock ist ausschlaggebend für die Einteilung. Unten Mitte: der Median aller Pixel im Feldblock ist ausschlaggebend für die Einteilung. Unten rechts: Eine Kombination aus relativen und absoluten Toleranzwerten ist massgebend für die Einteilung.

### Vergleich Mittelwert, Median und Variante 4

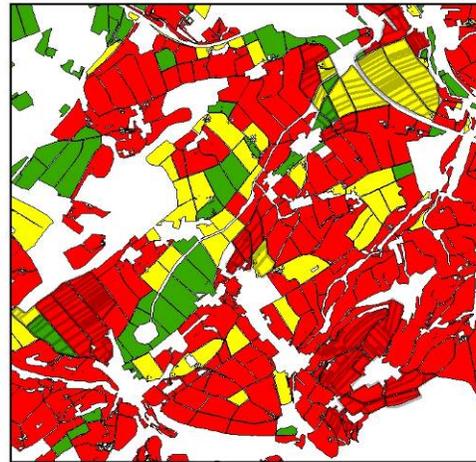


FID	Bis_30	Bis_55	Plus_55	PIXEL_ALL	MEAN	MEDIAN	Code4_30
2234	40592	4722	32122	77436	106	30	13

## Einteilung Feldblöcke

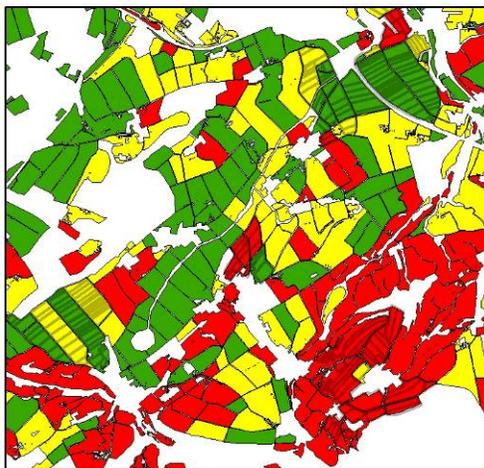


Code4\_30

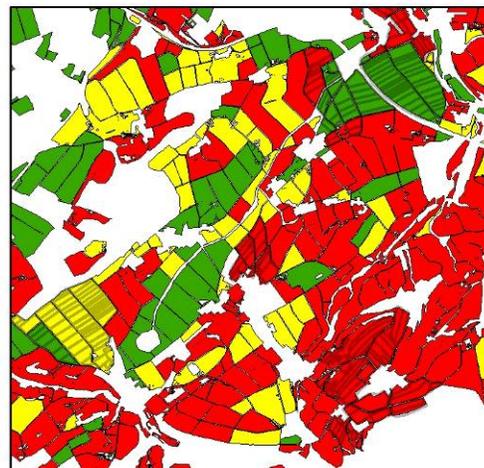


Code3\_20

### Erosionsrisiko



Median

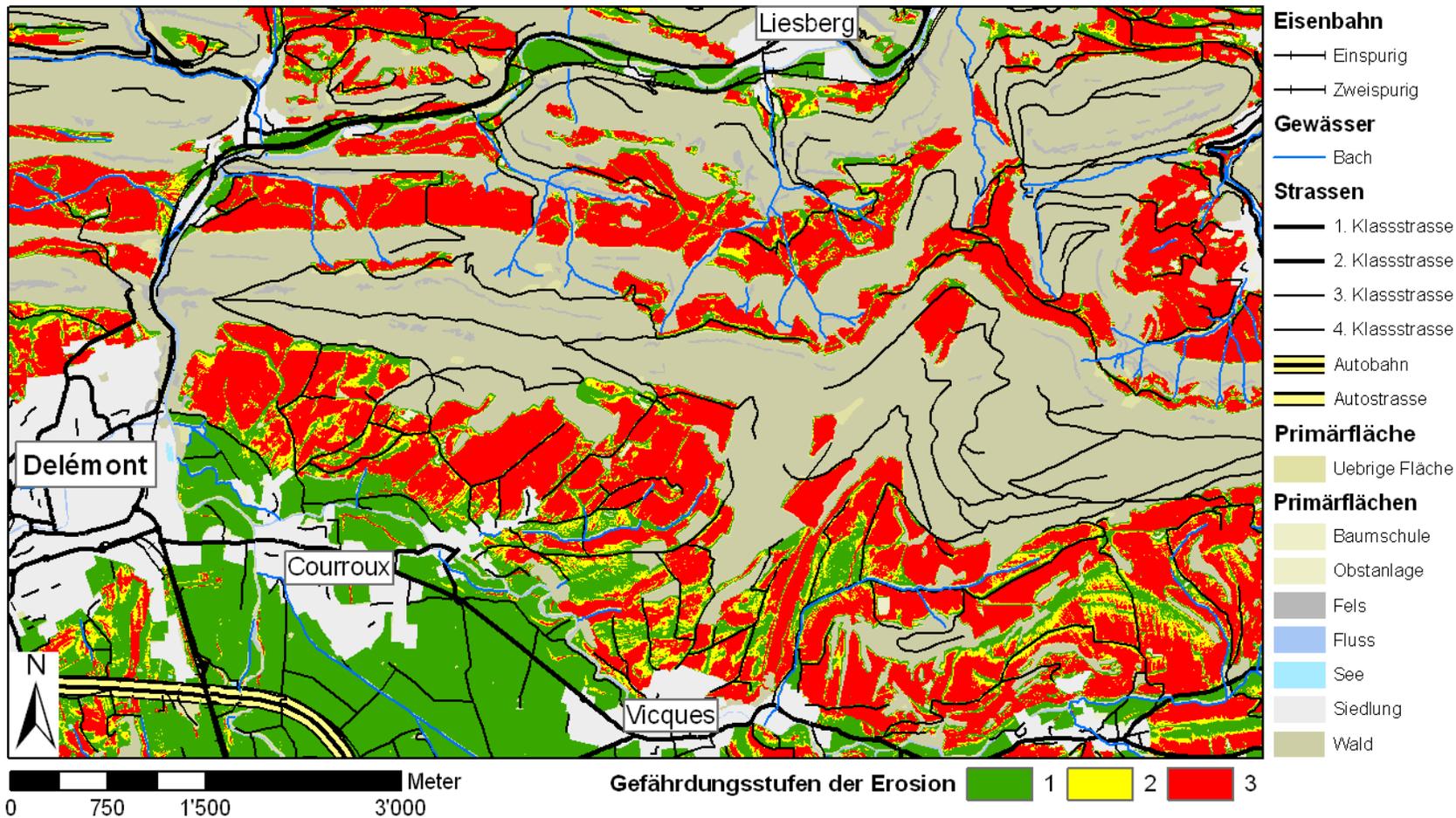


Mittelwert

Die Abbildung zeigt eine Übersicht der Einteilung von Feldblöcken mit verschiedenen Ansätzen und das daraus resultierende unterschiedliche Bild.

Anhang 3a: Für die Hinterlegung mit Vector25 muss je nach Massstab eine geeignete Darstellung der einzelnen Attribute (Strassen, Bäche, Eisenbahn usw.) gewählt werden. Dies ist nur ein Beispiel einer möglichen Darstellung mit Vector25.

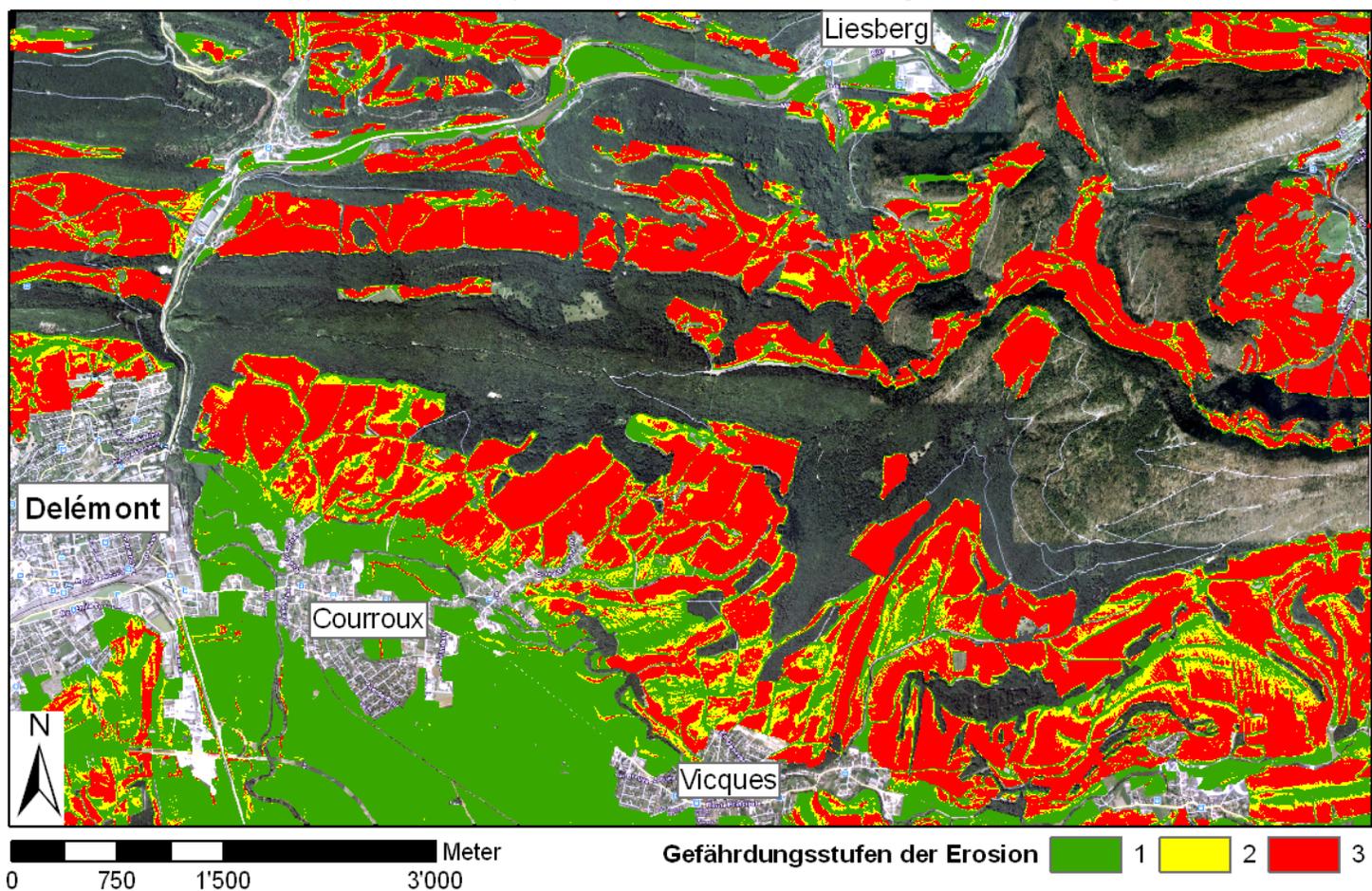
## Erosionsrisiko (3 Klassen) 1:50'000 - hinterlegt mit Vector25



Erosionsrisikokarte mit 3 Gefährdungsstufen. Hinterlegt mit Vector25. Quelle: eigene Darstellung, Vector25 (swisstopo)

Anhang 3b: Ebenso kann die Erosionsrisikokarte zur besseren Übersicht mit Luftbildern hinterlegt werden. Hier ein Beispiel mit einem georeferenzierten Google-Earth Bild (Google TM).

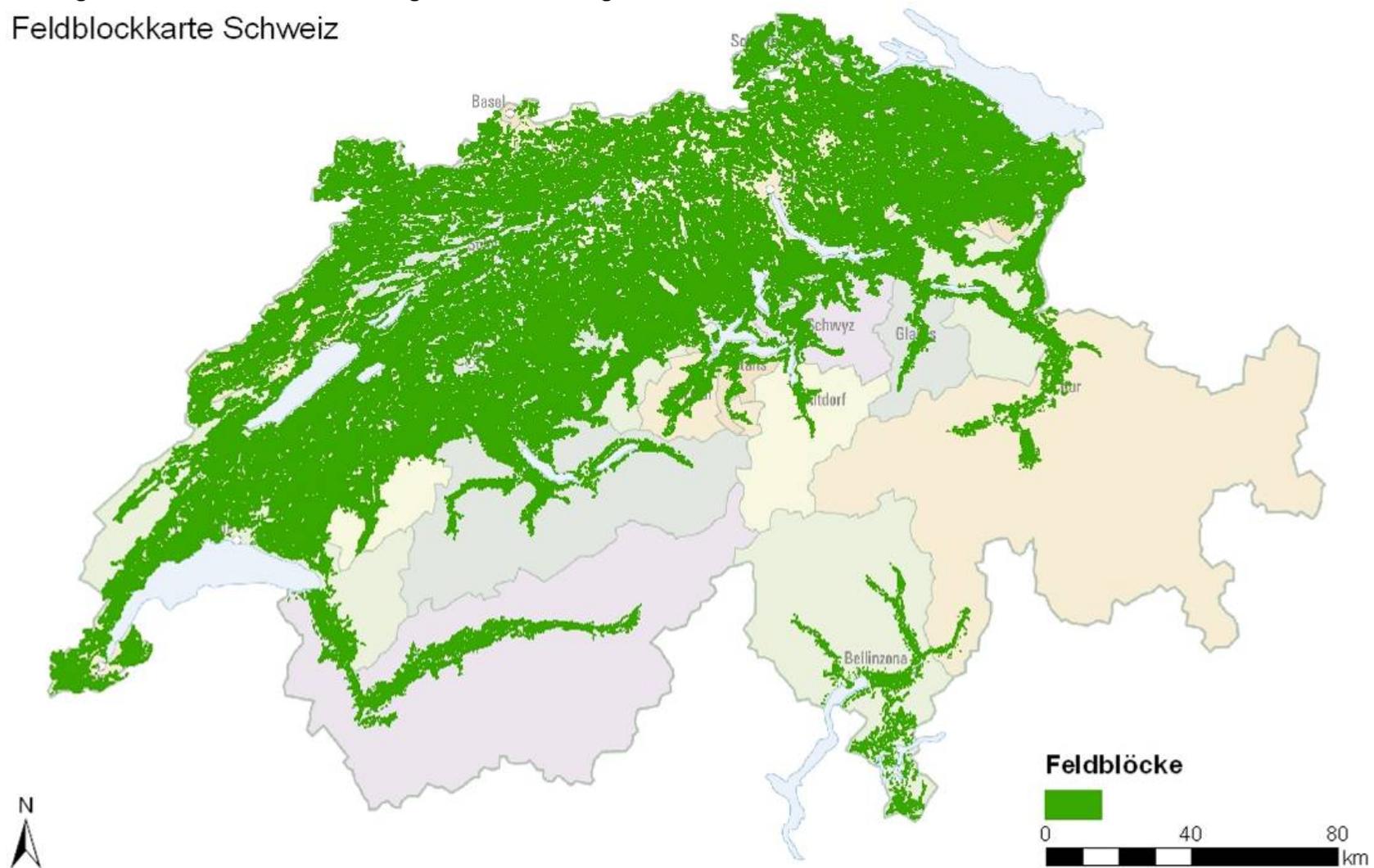
### Erosionsrisiko (3 Klassen) 1:50'000 - hinterlegt mit Google-Earth Bild



Erosionsrisikokarte mit 3 Gefährdungsstufen. Hinterlegt mit Google-Earth Bild. Quelle: eigene Darstellung, Google-Earth

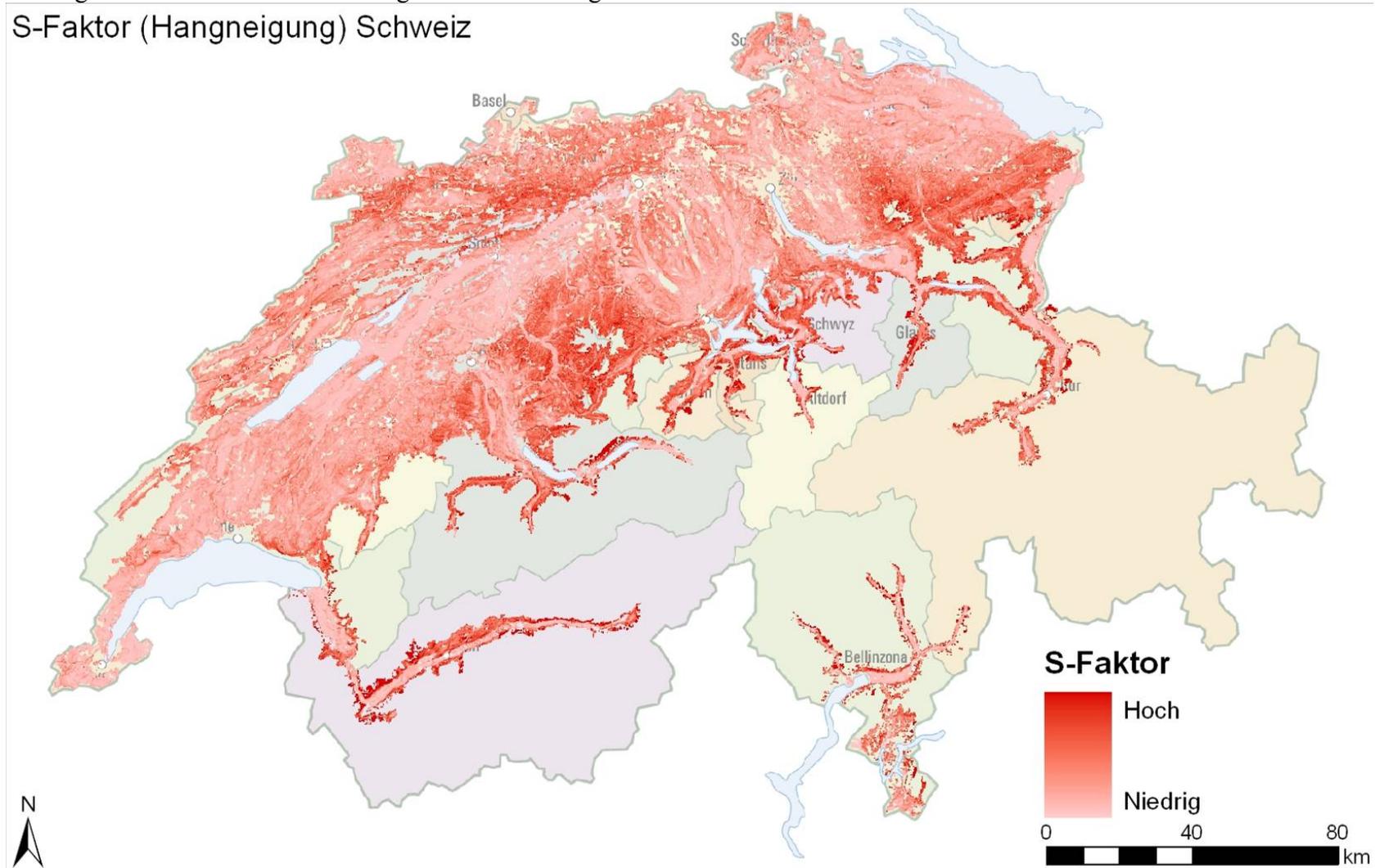
Anhang 4a: Feldblockkarte für das Talgebiet und die Bergzonen I und II.

### Feldblockkarte Schweiz



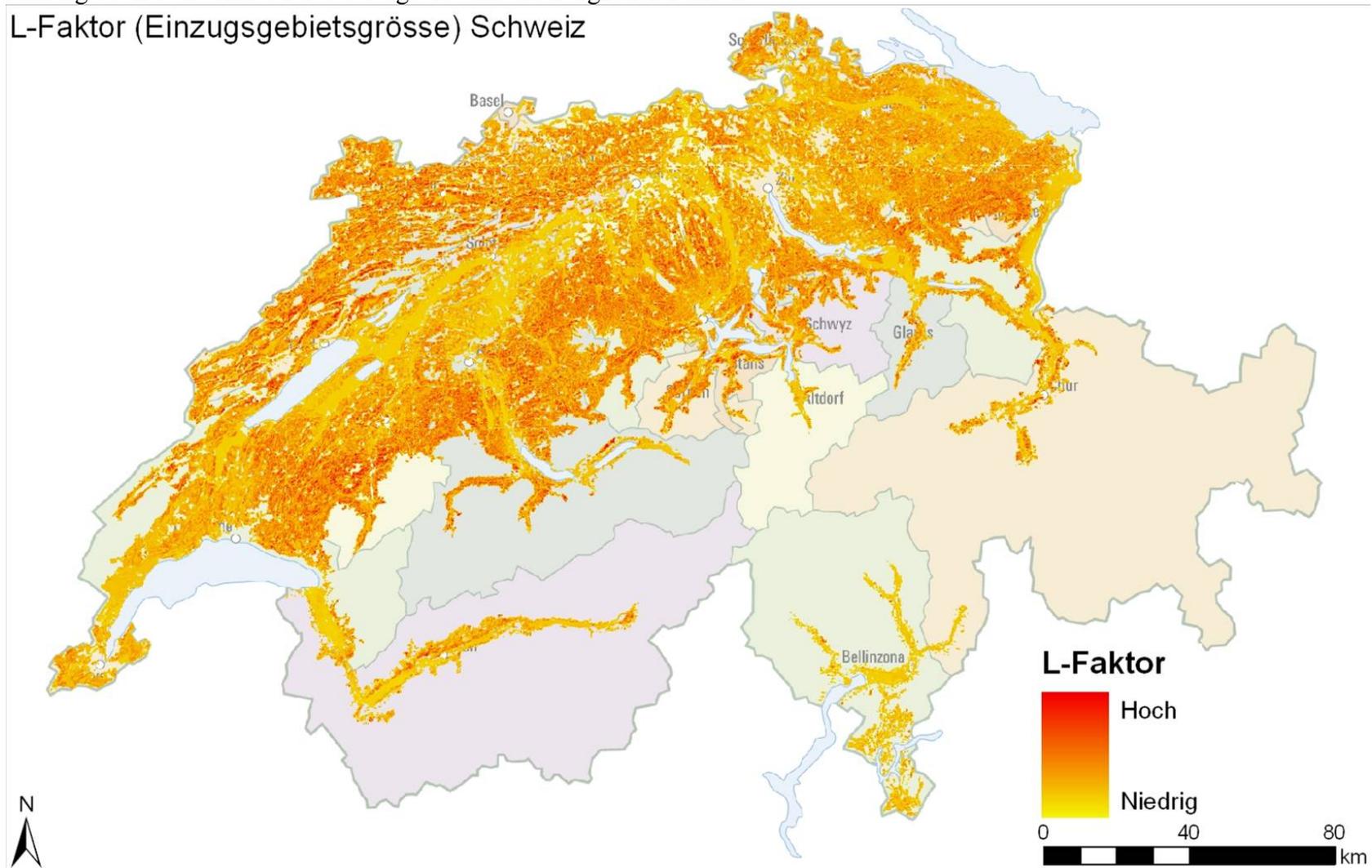
Anhang 4b: S-Faktorkarte für das Talgebiet und die Bergzonen I und II.

## S-Faktor (Hangneigung) Schweiz

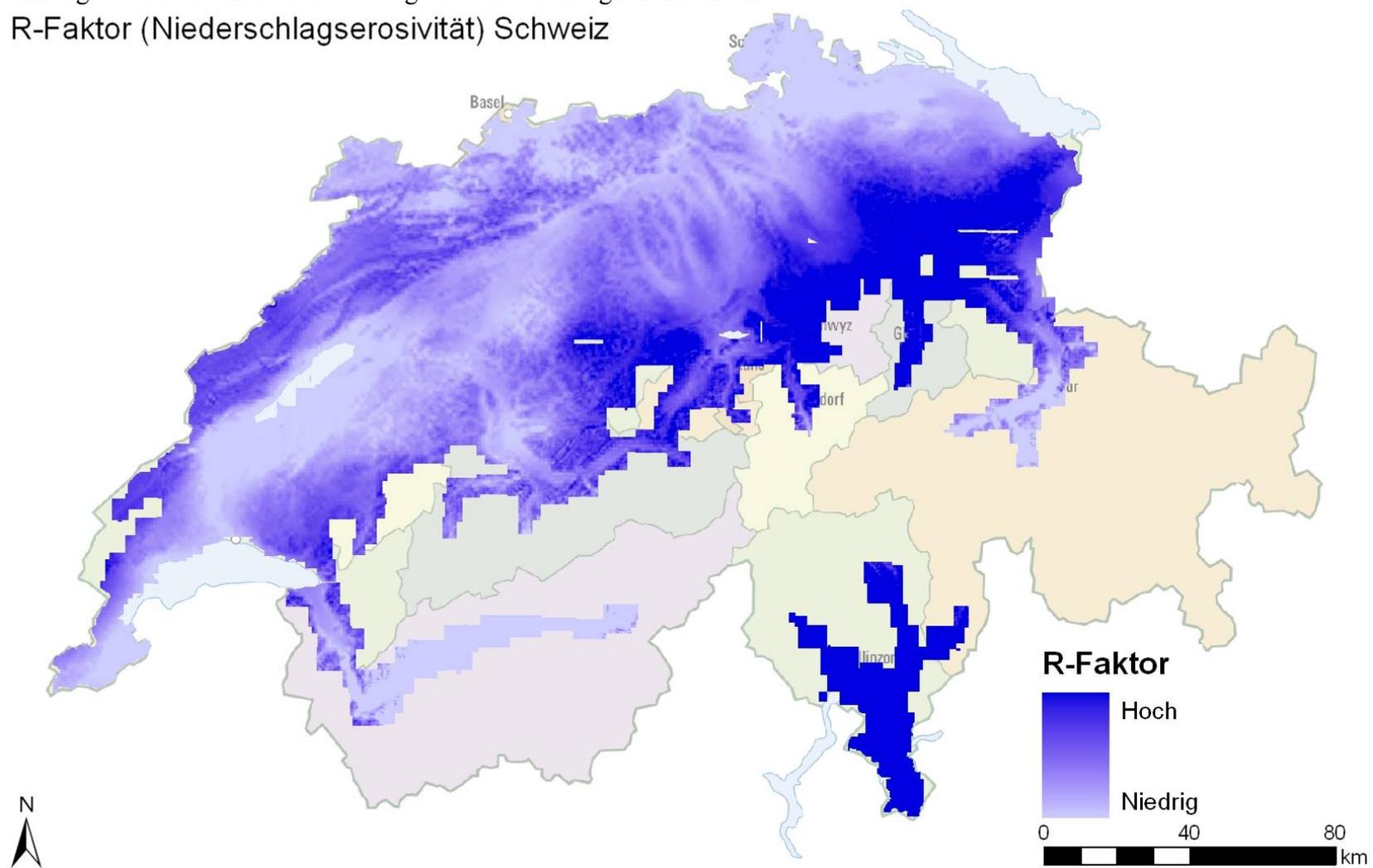


## Anhang 4c: L-Faktorkarte für das Talgebiet und die Bergzonen I und II.

## L-Faktor (Einzugsgebietsgrösse) Schweiz

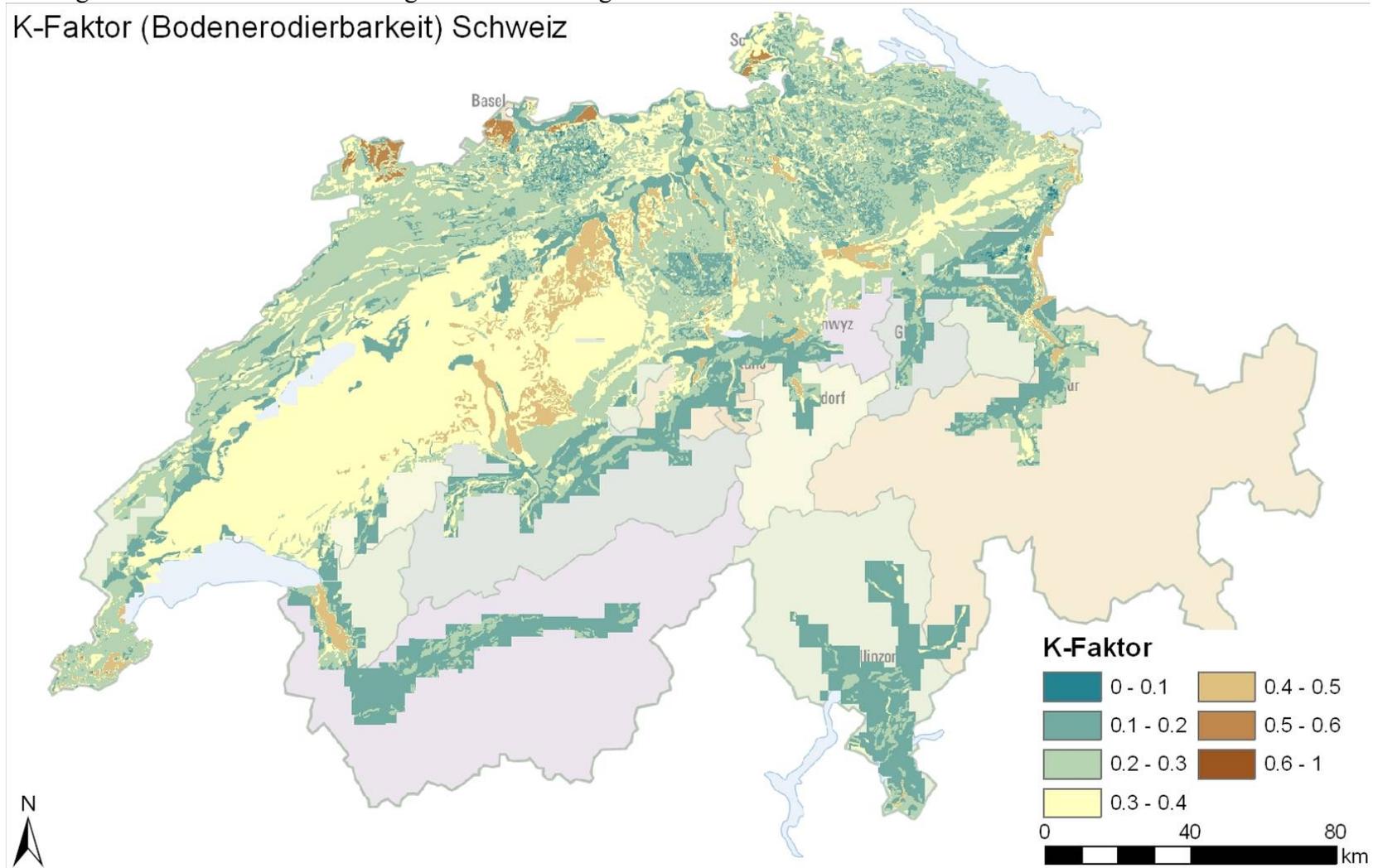


Anhang 4d: R-Faktorkarte für das Talgebiet und die Bergzonen I und II.  
R-Faktor (Niederschlagserosivität) Schweiz



## Anhang 4e: K-Faktorkarte für das Talgebiet und die Bergzonen I und II.

## K-Faktor (Bodenerodierbarkeit) Schweiz



## Anhang 5: Attribute von Vector25 mit entsprechenden Breiten und Puffern.

Kategorien und Attribute von Vektor 25

effektiv verwendet

Kategorie

Objektart	Attributnamen	ObjectVal	Verwendung	Puffer (m)	
			Grundlayer Eingeschnittene Attribute	Angewendet	
<b>Primärflächen</b>					
Flächen-Objektarten	Übriges Gebiet	Z_Uebrig			
	Reben	Z_Reben			
	Fluss	Z_Fluss		6	
	See	Z_See		6	
	Sumpf und Gebüsch	Z_SumGeb		3	
	Sumpf	Z_Sumpf		3	
	Sumpf in Wald	Z_SumWa		3	
	Sumpf in offenem Wald	Z_SumWaO		3	
	Wald	Z_Wald		3	
	Wald offen	Z_WaldOf		3	
<b>Strassennetz</b>					
Linien-Objektarten	Autobahn	Autobahn		12	
	Autobahn richtungsgetreunt	Autob_Ri		14	
	Autostrasse	Autostr		6	
	Ein-/Ausfahrt	Ein_Ausf		4	
	Autobahnzufahrt	A_Zufahrt		4	
	1. Klass Strasse	1_Klass		5	
	2. Klass Strasse	2_Klass		4	
	3. Klass Strasse	3_Klass		3	
	4. Klass Strasse	4_Klass		3	
	5. Klass Strasse	5_Klass		3	
	6. Klass Strasse	6_Klass		2,5	
	Quartierstrasse	Q_Klass		2,5	
<b>Eisenbahnnetz</b>					
				Variante 1	
Linien-Objektarten	Normalspurbahn mehrgleisig	NS_Bahn2		7	
	Normalspurbahn eingleisig	NS_Bahn1		5	
	Schmalspurbahn mehrgleisig	SS_Bahn2		5	
	Güterbahn	Gt_Bahn		4	
	Museumsbahn	MS_Bahn		4	
	Industriegeleise	I_Geais		3	
		Schmalspurbahn eingleisig	SS_Bahn1		3
		Strassenbahn	Str_Bahn		3
		Streckenverknüpfung innerhalb des Bahnhofareals	Str_Bhof		3

Gewässernetz			Bachvariante			
			Puffer + Schutzstreifen			
Linien-Objektarten	Bach, kleiner Fluss	Bach		3 + 6		
	fiktiver Bachverlauf	Bachachs		3 + 6		
	Fluss	Fluss		6 + 6		
	Bach ohne Erkennbare /	Kanal		3 + 6		
	Fiktive Seeachse innerhalb eines	Seeachse		3 + 6		
	Seeufer	See		3 + 6		
Gebäude						
Flächen-Objektarten	Gebäude / Einzelhaus	Z_Gebaeude				
	Innenhof	Z_Innenhof				
	Abgelegener Gasthof	Z_Gasthof				
	Hütte	Z_Huette				
	Kirche	Z_Kirche				
	Kühlturm	Z_Kuehlturm				
	Lagertank	Z_Lagertank				
	Perrondach	Z_Perron				
	Schiessstand, Schützenhaus	Z_Schiessstand				
	Schloss, Burg	Z_Schloss				
	Station / ÖV Haltestelle	Z_Station				
	Treibhaus	Z_Treibhaus				
	Wasserbecken (Schwimmbäder,	Z_WBecken				
	Hecken und Bäume					
	Punkt-Objektarten	Einzelbaum	EinBaum			1,25
Obstbaum		ObstBaum	1,25			
				Heckenvariante		
				Puffer + Schutzstreifen		
Linien-Objektarten	Baumreihe	BauReihe	nahe Fluss (20m) / im Feld	1 + 3		
	Hecke	Hecke		1 + 3		
	Obstbaumreihe	OBReihe		1 + 3		
Anlagen						
Flächen-Objektarten	Bahnhofareal	Z_BhArea				
	Flughafenareal	Z_FlArea				
	Flughafenbahnhofareal	Z_FlugBh				
Einzelobjekte						
Linien-Objektarten	Böschungsoberkante	BoeschOK		6		
	Böschungsunterkante	BoeschUK		8		

Puffer wirken immer zweiseitig. Um die Breite eines Linielements mit Puffer zu erhalten, muss der angegebene Wert mit 2 multipliziert werden.

### Nicht verwendete Attribute der Vek25 Karte

#### Primärflächen

Flächen-Objektarten	Fels	Z_Fels
	Gebüsch	Z_Gebue
	Geröll mit Gebüsch	Z_GerGeb
	Geröll auf gletscher	Z_GerGle
	Geröll	Z_Geroel
	Geröll in Wald	Z_GerWa
	Geröll in offenem Wald	Z_GerWaO
	Gleschter	Z_Glet
	Graspiste	Z_GsPist
	Piste mit Hartbelag	Z_HaPist
	Kiesgrube	Z_KiGrub
	Lehmgrube	Z_LeGrub
	Siedlung	Z_Siedl
	Staudamm	Z_StauDa
	Staumauer	Z_StauMa
	Steinbruch	Z_SteBru

Linien-Objektarten	Flussinsel	Flussins
	Flussrand	Flu_Rand
	Flussufer links	Fluss_li
	Flussufer rechts	Fluss_Re
	Grenze exakt	GrenzEx
	Grenze interpretiert	GrenzIn
	Hilfsgrenze	H_Grenze
	Gesamtperimeter	H_Rahmen
	Seeufer	Seeufer
	Seeufer veränderlich	Seeu_and
	Seeufer verbaut	Seeu_bau
	Waldrand	Waldrand
	Waldrand offen	WaldrO
	Staumaueroberkante /	Stau_OK
	Staumauerunterkante /	Stau_UK

#### Strassennetz

Linien-Objektarten	Alleinstehende Brücke	BrueckLe	
	Alleinstehender Steg	StegLe	
	D: Fahrweg	Fahrweg	
	Historischer Weg/Strasse	HistWeg	8 kleine
	Panzerpiste	PzPiste	
	Parkweg	Parkweg	
	Alleinstehende Brücke gedeckt	GedBruLe	
	D: Bundesstrasse	Bundesst	
	D: Fussweg	Fussweg	
	D: Hauptstrasse	Hauptst	
	D: Nebenstrasse	Nebenst	
	D: Wirtweg	Wirtweg	
	F: Accès et sortie (autoroute)	Acces	
	F: Autoroute	AutoFte	
	F: Autre route Régulièrement entretenue	AutrRteA	
	F: Autre route Irrégulièrement	AutrRteB	

kann man  
weglassen

F: Chemin d'exploitation	ChExploi
F: Route à 2 voies étroites	Tre2etr
F: Route à 2 voies larges	Rte2larg
F: Route à 3 voies et plus	Rte3voie
F: Route à 2 chhaussées	Rte2chau
F: Route étroite	RteEtroi
F: Sentier, layon, ligne de coupe	Sentier
Verbindungselement	ww50

**Gewässernetz**

Bachverlauf unterirdisch oder auf	Bach_U
Suone: Bewässerungskanäle an	Bisse
Druckleitung einfach	Druck_1
Druckleitung mehrfach	Druck_2
Druckstollen	Drucksto
Flussverlauf unterirdisch oder auf	Fluss_U
Seeinsel	Seeinsel

**Gebäude**

Linien-Objektarten	Grenzlinie Gebäude	GrenzGeb
--------------------	--------------------	----------

**Anlagen**

Linien-Objektarten	Grenzlinie Anlagen	GrenzAnl
--------------------	--------------------	----------

**Einzelobjekte**

Punkt-Objektarten	Antenne	Antenne
	ARA	ARA
	Aussichtsturm	AusTurm
	Bildstock / Wegkreuz	BiStock
	Brunnen	Brunnen
	Denkmal	Denkmal
	Doline	Doline
	Drehscheibe	Drehsch
	Elektrizitätswerk	EiWerk
	hafen	hafen
	Höhle/Grotte	Hoehle
	Hochkamin	Kamin
	Kapelle	Kapelle
	Kirchturm	KiTurm
	Quelle	Quelle
	Reservoir	Reserv
	Schiffstation	Schiffst
	Sendeanlage	SendeAnl
	Turm	Turm
	Wasserturm	W_Turm
	Wasserfall	WaFall
	Zisterne offen	ZistOff
	Hochspannungsleitung	HSP_Ltg
	Ruine	Ruine
	Radiosender	Sender
	Steinböschungsoberkante	StBoeOK
	Steinböschungsunterkante	StBoeUK

**Übriger Verkehr**

Linien-Objektarten	Autofähre	A_Faehre
	Luftseilbahn	LS_Bahn
	Materialbahn	Mat_Bahn
	Personenfähre	P_Fahre
	Skilift	Skilift