

AV EROSION 1.1

für ArcView 3.x

Autor:

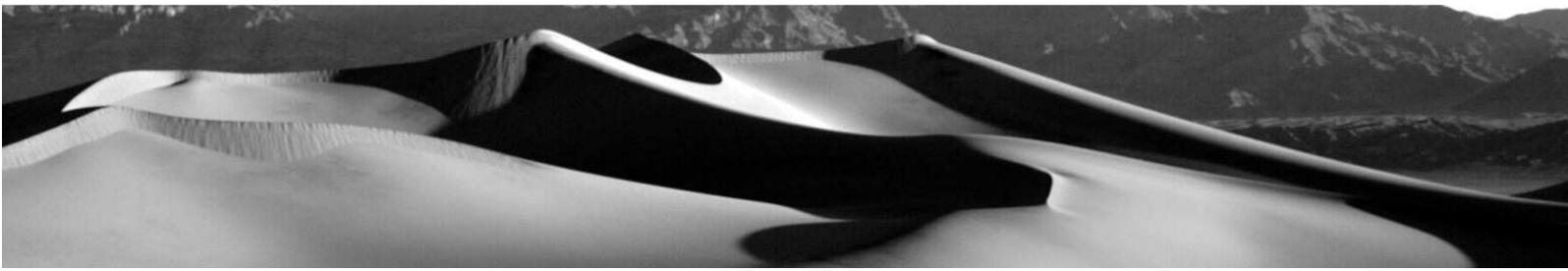
Dr. Holger Schäuble, Geograph und GIS-Analyst
TERRACS, Beim Herbstenhof 48, 72076 Tübingen, Germany
Web: www.terracs.com
Email: schaeuble@terracs.com
Tel.: +49-7071-1384226

1. Einleitung

Das Programm AV EROSION 1.1 ist ein Zusatzprogramm für die GIS-Software ArcView 3.x. und dient der Analyse der Bodenerosion nach den Modellen USLE und MUSLE87. Neben dem Bodenabtrag (= Bruttoerosion) können auch die Stoffbilanz (= Nettoerosion; Akkumulation von Bodenmaterial oder die Verkürzung von Bodenprofilen) und die tolerierbaren Nutzungsintensitäten (maximale CP_{max} -Werte, die für einen nachhaltige Bewirtschaftung erlaubt sind) berechnet werden. Die Methodik der Analysen wird in diesem Manual nur kurz skizziert. Ausführliche Erläuterungen finden sich in:

Bork, H.R.; Schröder, A. (1996): Quantifizierung des Bodenabtrags anhand von Modellen. Aus: Blume, H. P.; Felix-Henningsen, P.; Fischer, W. R. u.a. (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde. Landsberg/Lech (ecommed). Kap.6.3.5.

Hensel, H. (1991): Verfahren zur EDV-gestützten Auswertung der Bodenerosionsgefährdung von Hängen und Einzugsgebieten. Berlin (Technische Universität Berlin). (= Bodenökologie und Bodengenes. 2)



Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A. u.a. (1997): Predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Draft August (USA) (US Department of Agriculture). (= Agriculture Handbook. 703)

Schäuble, H. (1999): Erosionsprognosen mit GIS und EDV. Ein Vergleich verschiedener Bewertungskonzepte am Beispiel einer Gäulandschaft. Eberhard-Karls Universität Tübingen, Geographisches Institut, Diplomarbeit.

Schäuble, H. (2000): Erosionsmodellierungen mit GIS. Probleme und Lösungen zur exakten Prognose von Erosion und Akkumulation. Aus: Rosner, H.-J. (Hrsg.): GIS in der Geographie II. Ergebnisse der Jahrestagung des Arbeitskreises GIS 25./26. Februar 2000. Tübingen (Geographisches Institut der Universität Tübingen). (=Kleinere Arbeiten aus dem Geographischen Institut der Universität Tübingen. 25) S. 51-62.

Schwertmann, U.; Vogl, W.; Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Auflage. Stuttgart (Ulmer).

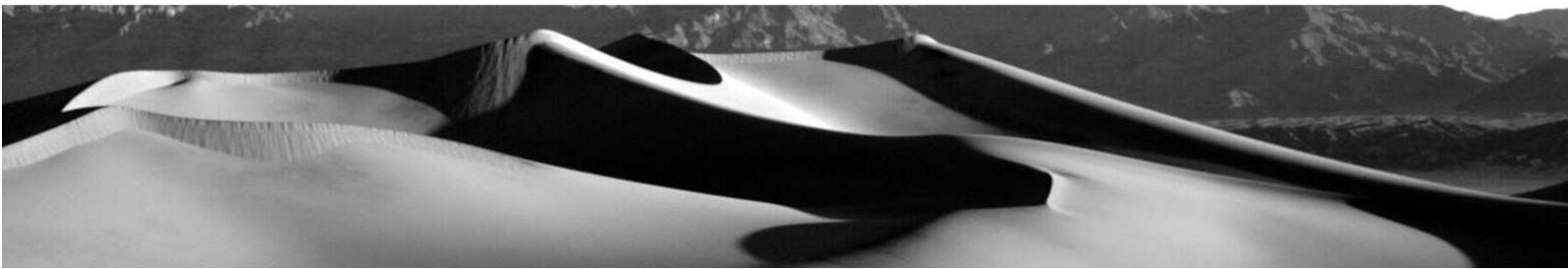
TLL (2004): Entwurf zur DIN 19708:2003-05 (Abschnitt über Ermittlung des P-Faktors)

2. Installation

AV EROSION besteht aus zwei verschiedenen Dateien, der Steuerungsdatei averosion.avx und der Programmdatei averosion.dll. Zur Installation müssen beide in die entsprechenden Verzeichnisse von ArcView kopiert werden:

- averosion.avx in das Extensionverzeichnis EXT32 (z.B. C:\Av_gis30\ArcView\Ext32).
- averosion.dll in das Programmverzeichnis BIN32 (z.B. C:\Av_gis30\ArcView\Bin32).

Nach erfolgter Aktivierung der Extension (Abb. 1, links) erscheinen mit jedem neuen Ansichtsfenster (= View) 6 neue Schaltflächen (Abb. 1, rechts). Die erste Schaltfläche () startet eine Funktion zur automatischen Anpassung von Rasterdateien an die selektierten Polygone eines Shapefiles (= ausgewählte Schläge von landwirtschaftlichen Nutzflächen), die zweite Schaltfläche () startet eine Routine, die ein digitales Höhenmodell nach Fehlern untersucht und diese gegebenenfalls korrigiert. Die dritte Schaltfläche () startet eine Funktion, mit der beliebig viele Linien/ Punkte/Polygone als Hindernisse (= NoData) in ein Raster eingefügt werden können. In analoger Weise lassen sich Hindernisse mit der vierten Schaltfläche ()



wieder entfernen. Die fünfte Schaltfläche () startet das eigentliche Programmfenster, in dem die Funktionen zur Analyse von Bodenerosion, Stofftransport und erlaubten Nutzungsweisen enthalten sind (Abb. 2). Der sechste Button () befindet sich eine Ebene tiefer und dient als sogenanntes Tool zum Ausschneiden und Anpassen von Rasterdateien auf eine einheitliche Bezugsebene. Alle Funktionen werden auf den folgenden Seiten zusammen mit kurzen Bildbeispielen beschrieben.

Abbildung 1:

Aktivierung von AV EROSION 1.0 (links) und in das View eingefügte Analysebuttons (rechts)

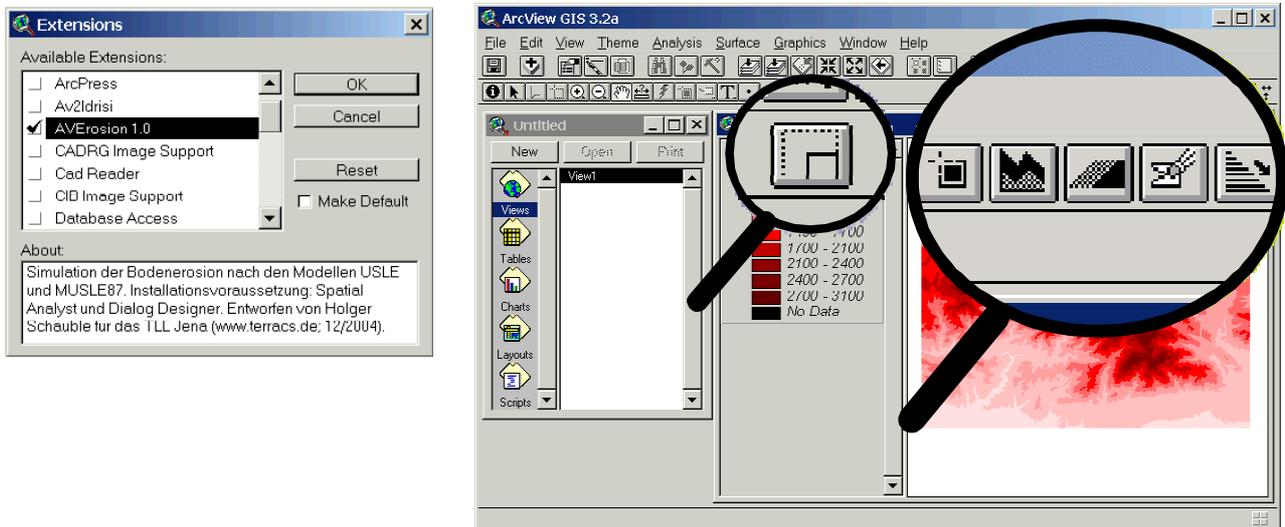
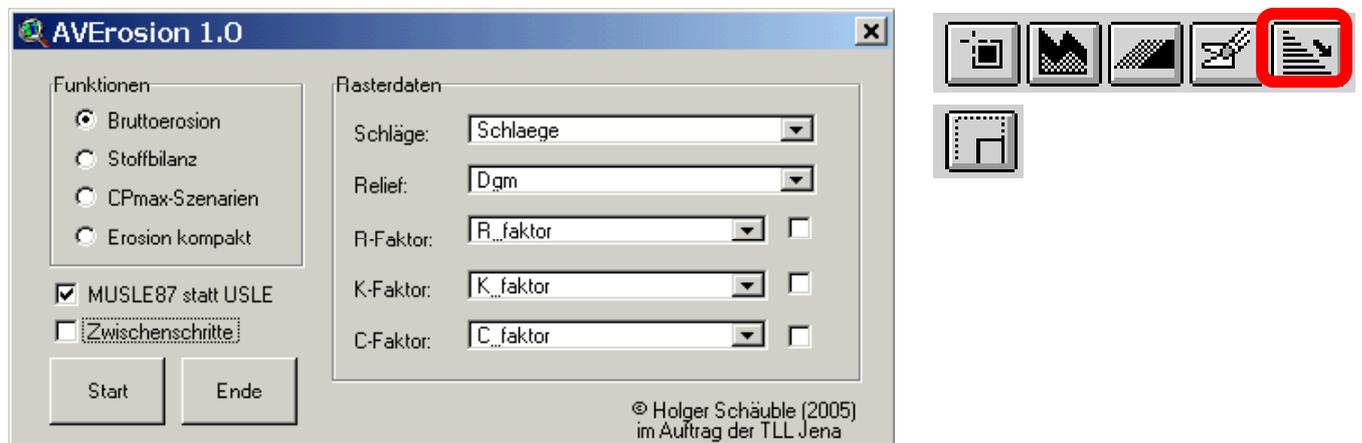
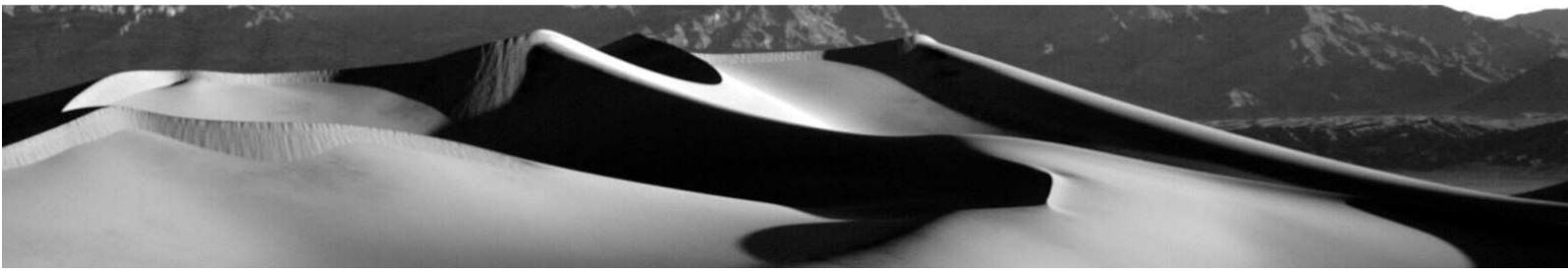


Abbildung 2:

Analysefenster mit Funktionen zur Berechnung von Erosion, Stoffbilanz und CP_{max}-Werten





Links: Analysefenster von AV EROSION mit beispielhaft ausgewählten Dateien und Optionen; **Rechts, oben:** Steuerbuttons von AV EROSION, der erste Button (1.v.l.) aktiviert eine Funktion zum automatischen Ausschneiden und Anpassung beliebig vieler Raster an einen Referenzschnitt eines Shapefiles (= selektierte Ackerflächen), der zweite Button (2.v.l.) aktiviert eine Funktion zur automatischen Korrektur eines Höhenmodells, die beiden nächsten (3.u.4.v.l.) aktivieren eine Funktion zur automatischen Einfügung/Entfernen von Barrieren (= NoData-Werte) in ein(em) Maskenraster und der rechte rot umrandete Button (5.v.l.) startet das hier abgebildete Analysefenster; **Rechts, unten:** Toolbutton von AV EROSION; der Button aktiviert eine Funktion zum automatischen Ausschneiden und Anpassung beliebig vieler Raster an eine einheitliches Format (Ausdehnung und Zellengröße).

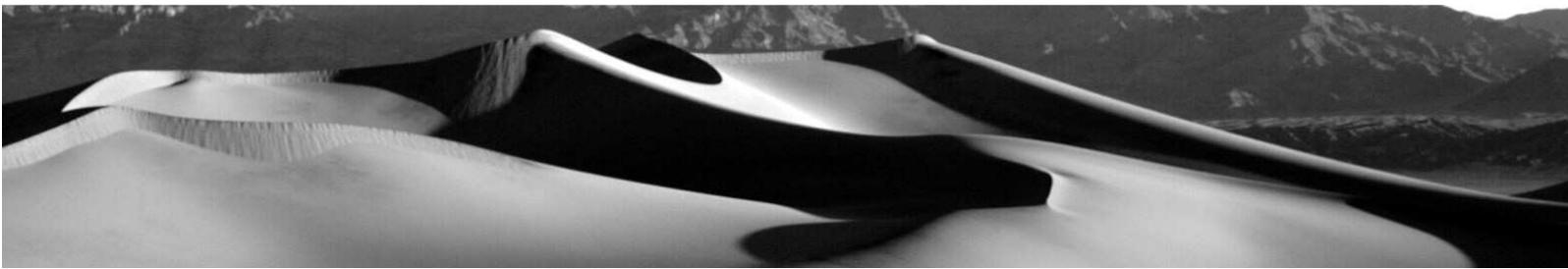
3. Funktionen: Vorbereitung der Daten

Ausschneiden und Anpassen von Rasterdateien auf ein einheitliches Niveau

Rasterdateien, welche zur Berechnung der Bodenerosion benutzt werden, müssen unbedingt eine einheitliche Zellengröße und Ausdehnung haben (= Ränder mit gleichen Koordinaten). Sollte dies nicht der Fall sein, dann wird die gesamte Berechnung der Bodenerosion fehlerhaft. Zur Sicherstellung und zum Handling großer Datensätze daher wurden zwei Funktionen entwickelt, die Funktion TLL Ausschneiden () und die Funktion TLL Shape Select (). Beide dienen dazu, beliebig viele Rasterdateien auf einen einheitlichen Standard zu bringen (= gleiche Ausdehnung und gleiche Pixelgröße), als Grundvoraussetzung korrekter Berechnungen mit AV EROSION. Je nach Wunsch kann entweder die eine oder andere der beiden Funktionen verwendet werden. Mit der Funktion TLL Ausschneiden wird ein Rechteck in das aktive View gezeichnet, welches dann als Begrenzungsrahmen dient, mit der Funktion TLL Shape Select wird dieser Rahmen automatisch anhand der selektierten Polygone aus einem aktiven Shapefile erstellt.

Funktion TLL Ausschneiden ():

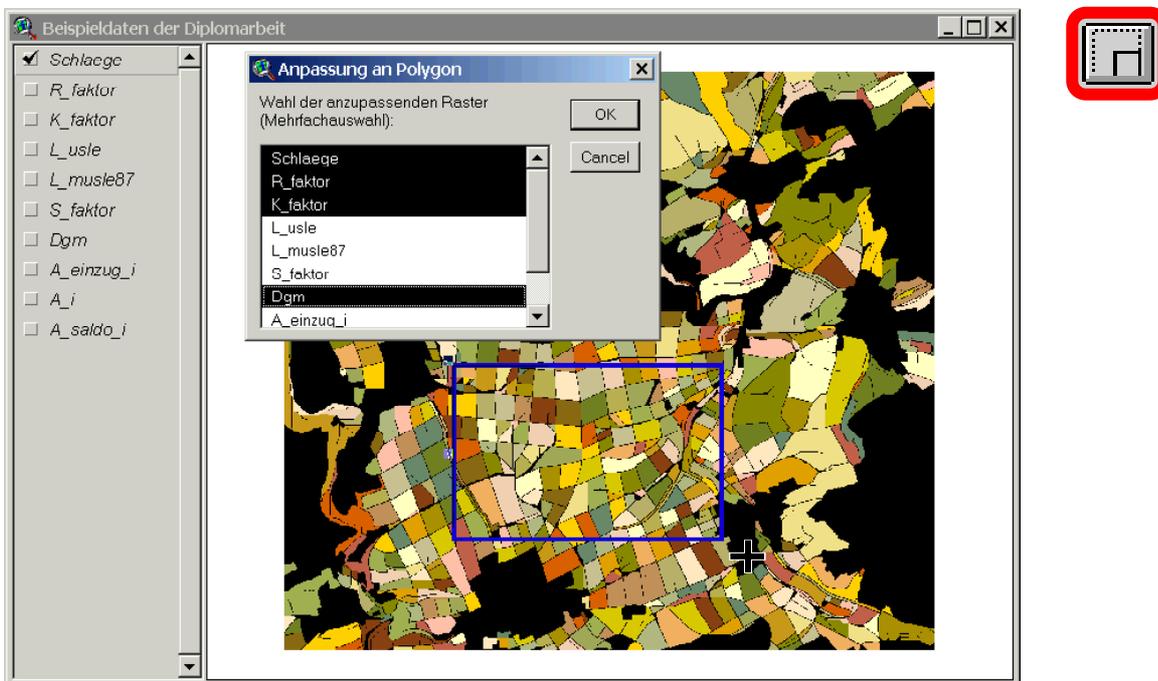
Durch Aktivierung des vorliegenden Button wird das Erscheinungsbild des Cursors im aktiven View verändert (weißumrandetes schwarzes Kreuz), mit dem nun ein beliebig großes Rechteck gezeichnet werden kann. Dieses Rechteck dient als einheitliches Schnittmuster für alle Rasterdateien, die aus dem nachfolgenden Auswahlfenster („Anpassung an Polygon“) ausgewählt werden können. Die einheitliche Zellengröße für alle neu beschnittenen Rasterdateien entnimmt AV EROSION der ersten aktiven Rasterdatei (im unteren Beispiel von Abb. 3 ist dies das Raster „Schläge“). Alle selektierten Raster werden mit diesen Werten neu



berechnet und in ein schon bestehendes oder neu geschaffenes Analysefenster eingefügt. Dort kann die eigentliche Berechnung der Bodenerosion, etc. ohne Fehlermeldungen vorgenommen werden. Die neuen Raster haben die gleichen Namen, jeweils ergänzt durch den Zusatz „, korrigiert.

Abbildung 3:

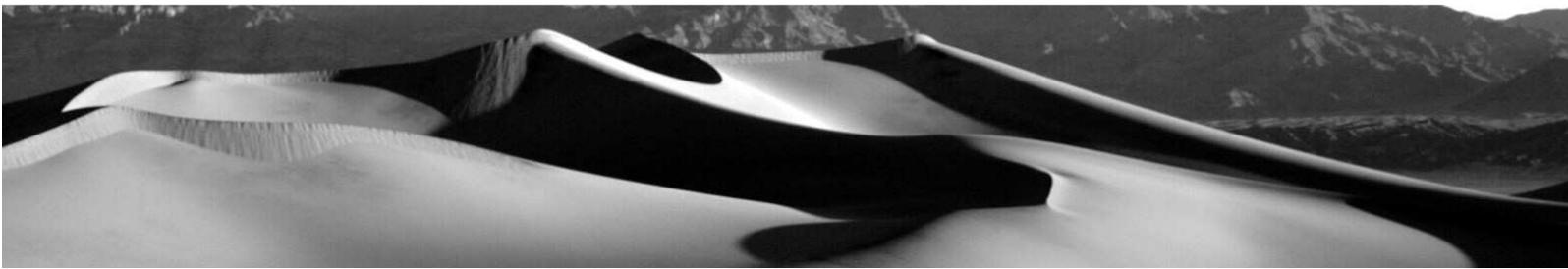
Anpassen von Rasterdateien auf einheitliches Niveau über ein interaktiv gezeichnetes Rechteck



Analysefenster von AV EROSION mit ausgewähltem Ausschnitt zur Neuberechnung von Rasterdateien einheitlicher Größe (= gleiche Pixelgröße und gleiche Eckkoordinaten). Alle selektierten Raster werden neu berechnet.

Funktion TLL Shape Select ():

Im Gegensatz zur Funktion TLL Ausschneiden wird hier der Ausschnitt nicht mehr von Hand gezogen, sondern automatisch aus einem Shapefile ermittelt. Zuvor selektierte Polygone (Auswahl mit den üblichen Werkzeugen von ArcView, z.B. Select Feature oder Query) definieren dabei die Grenzlinien eines Rechteckes, das wiederum als einheitliches Schnittmuster für alle Rasterdaten dient (Abb. 4). Die Prozedur verläuft in drei aufeinanderfolgenden Schritten:

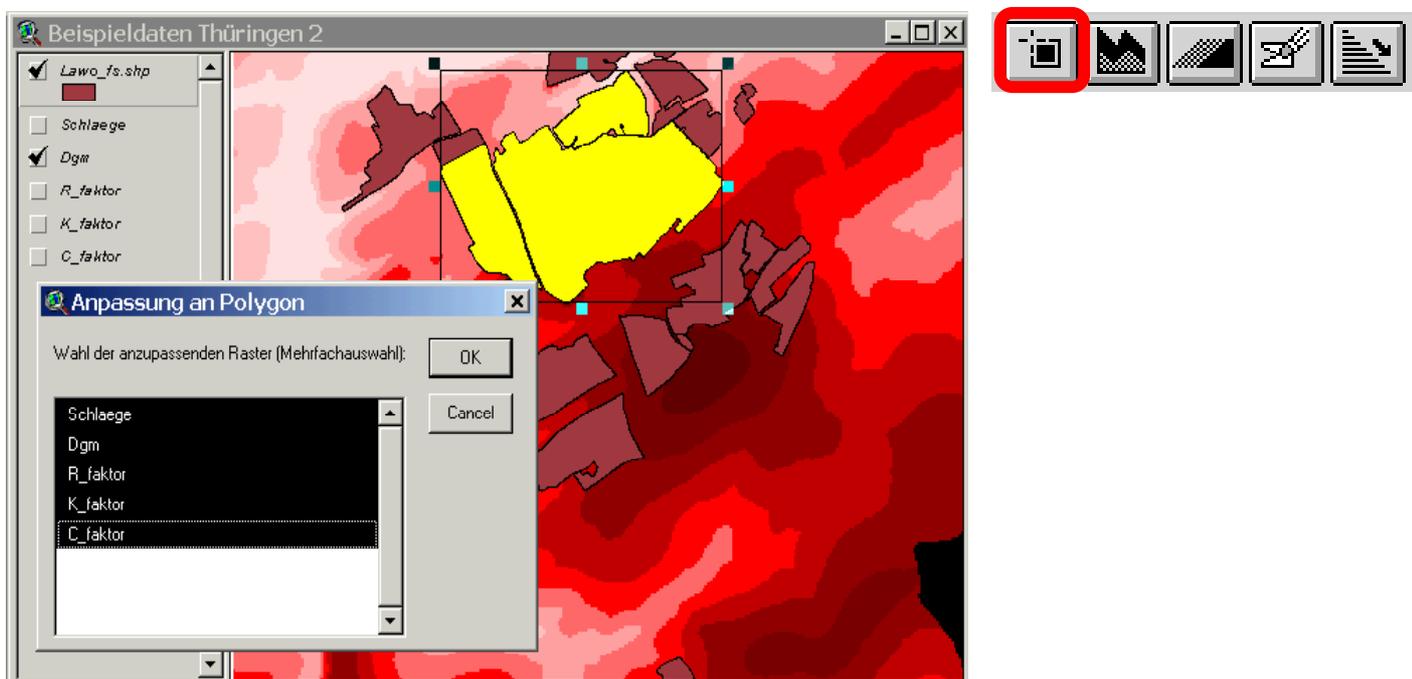


1. Selektion beliebig vieler Polygone in einem Shapefile, das die Ackerschläge repräsentiert (hier: Lawo_fs.shp)
2. Aktivierung des Buttons TLL Shape Select ()
3. Auswahl der zu beschneidenden Raster im folgenden Auswahlfenster („Anpassung an Polygon“)

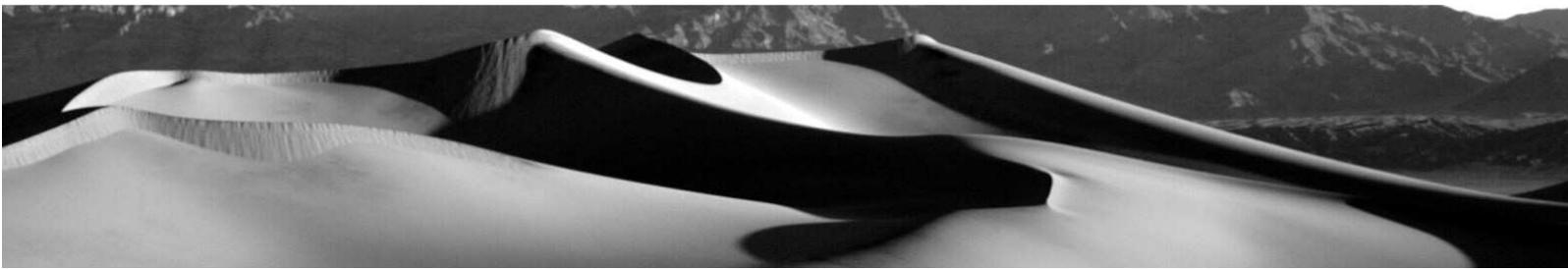
Das Rechteck, welches den Ausschnitt für alle Rasterdateien definiert, wird immer automatisch so erstellt, dass alle ausgewählten Polygone gerade in ihm Platz finden, d.h. die Grenzlinien verlaufen genau an den äußersten Rändern der Polygone entlang. Die Pixelgröße ergibt sich aus dem ersten Grid im Auswahlfenster (in diesem Fall dem Raster Schlaege; vgl. Abb. 4).

Abbildung 4:

Anpassen von Rasterdateien auf einheitliches Niveau über selektierte Polygone in einem Shapefile



Analysefenster von AV EROSION mit automatisch erstelltem Ausschnitt zur Beschneidung verschiedener Rasterdateien auf ein einheitliches Niveau (= gleiche Pixelgröße und gleiche Eckkoordinaten). Alle Raster im Auswahlfenster werden neu berechnet.



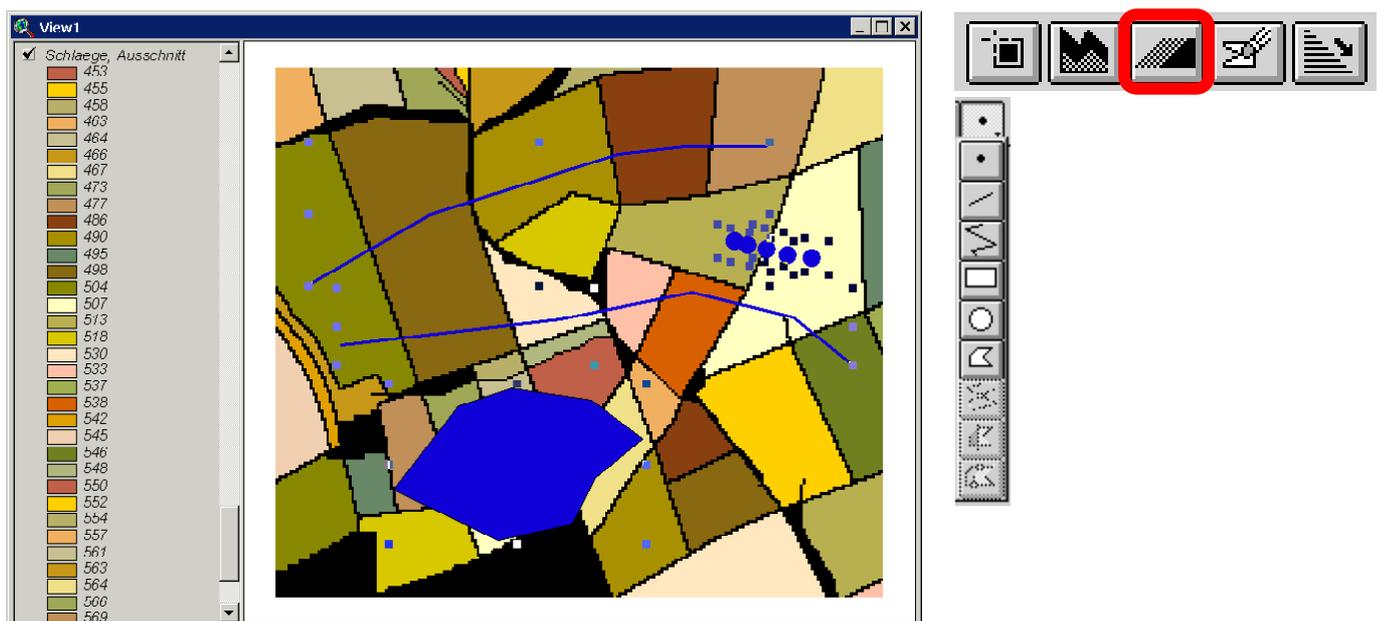
Ergänzung von hydrologischen Barrieren (Schlaggrenzen, dichte Vegetation)

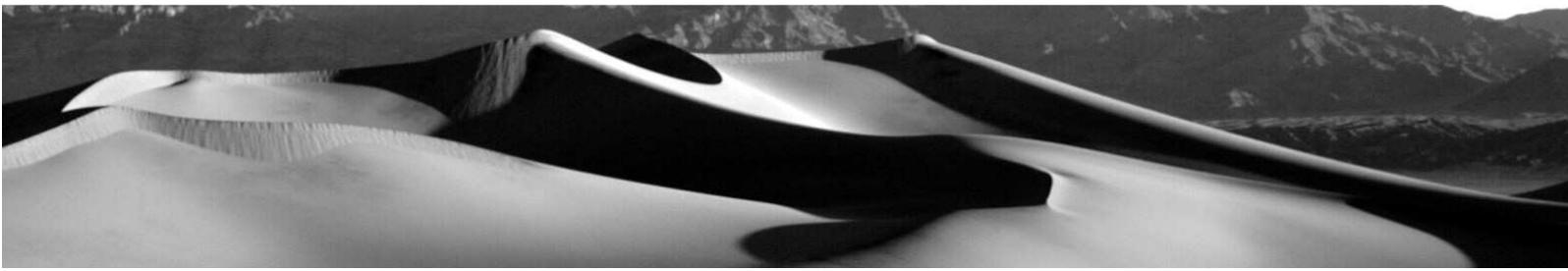
Zur Simulation von Bodenschutzmaßnahmen (Hecken, Schutzstreifen, Hindernisse, o.ä.) kann ein vorhandenes Schlagraster oder Höhenmodell mit zusätzlichen NoData-Zellen modifiziert werden. Pixel mit NoData-Werten dienen bei der Berechnung der Bodenerosion als Hindernisse, welche den Stofftransport vollständig zum Erliegen bringen (Abb. 6). Sie simulieren damit die Auswirkungen der genannten Fließbarrieren. Die Ergänzung eines Rasters mit Fließbarrieren und Sperrflächen sind drei aufeinanderfolgende Schritte erforderlich:

1. Einzeichnen von Graphikelementen (Punkte, Linien oder Polygone) in das aktive Ansichtsfenster mit den üblichen Werkzeugen von ArcView (vgl. Leiste der Zeichenwerkzeuge in Abb. 5). Es können beliebig viele Elemente und alle möglichen Typen gleichzeitig verarbeitet werden.
2. Auswahl der gewünschten Graphikelemente und der Rasterdatei, welche um die entsprechenden NoData-Flächen ergänzt werden soll.
3. Start der Funktion TLL Sperrlinien (), welche das Raster mit den selektierten Graphikelementen ergänzt. Als Ergebnis entsteht ein neues Raster. Es hat den gleichen Namen, ergänzt durch den Zusatz „, korrigiert“

Abbildung 5:

Graphikelemente (Punkte, Linien, Polygone) zur Ergänzung eines Rasters mit hydrologischen Barrieren

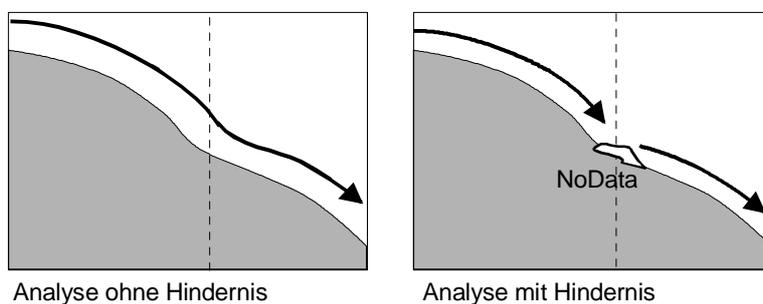




Analysefenster von AV EROSION mit ausgewählten Punkten, Linien und Polygonen. Diese Graphikelemente werden mit der Funktion TLL Maskenkorrektur in ein Neuberechnetes Raster als NoData-Elemente eingefügt.

Abbildung 6:

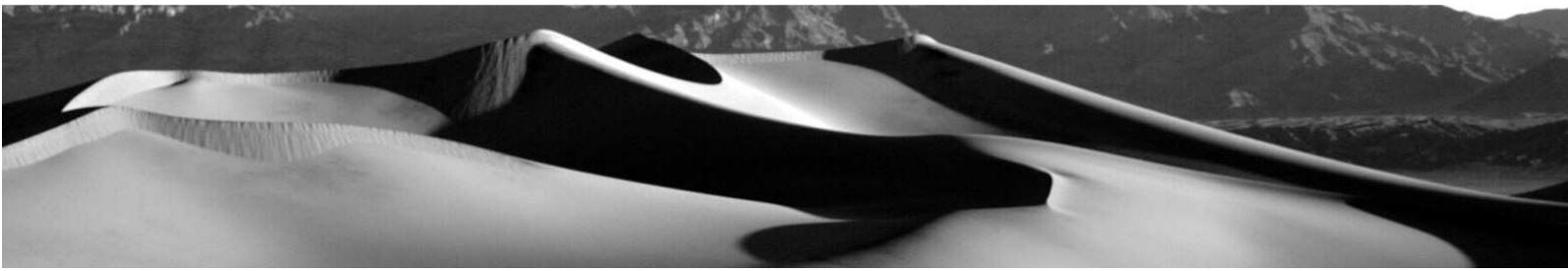
Wirkung von hydrologischen Barrieren bei GIS-gestützten Fliessanalysen



Entfernung von hydrologischen Barrieren (Schlaggrenzen, dichte Vegetation)

Analog zur Simulation von Bodenschutzmaßnahmen können auch die Auswirkungen des gegenteiligen Effektes untersucht werden, d.h. die Bodenerosion, wenn schützende Hecken, Schutzstreifen oder Hindernisse zwecks Flurbereinigung entfernt werden sollen. In diesem Fall können die in einem Schlagraster vorhandenen NoData-Zellen entfernt und durch die Pixelwerte ihrer nächsten Nachbarn ersetzt werden. Die Vorgehensweise verläuft analog zum interaktiven Einfügen hydrologischer Barrieren (s.o.). Der einzige Unterschied besteht darin, dass die selektierten Graphikelemente nun nicht mehr zur Einfügung von NoData-Pixeln, sondern zu ihrer Entfernung führen. Insgesamt sind drei aufeinanderfolgende Schritte erforderlich:

1. Einzeichnen von Graphikelementen (Punkte, Linien oder Polygone) in das aktive Ansichtsfenster mit den üblichen Werkzeugen von ArcView (vgl. Leiste der Zeichenwerkzeuge in Abb. 5). Es können beliebig viele Elemente und alle möglichen Typen gleichzeitig verarbeitet werden.
2. Auswahl der gewünschten Graphikelemente und der Rasterdatei, aus welcher die entsprechenden NoData-Flächen entfernt werden sollen.
3. Start der Funktion TLL Sperrlinien aus (), welche die im Raster befindlichen Barrieren entfernt. Als Ergebnis entsteht ein neues Raster. Es hat den gleichen Namen, ergänzt durch den Zusatz „, korrigiert“.



Untersuchung und Korrektur des verwendeten digitalen Höhenmodells

Zur Sicherstellung der hydrologischen Korrektheit der verwendeten Höhenmodelle (wichtig bei der Berechnung des LS-Faktors) wurde in AV EROSION eine automatische Funktion integriert (DEM Korrektur). Diese untersucht ein Höhenmodell auf hydrologisch wirksame Fehler (abflusslose Senken, ebene Flächen, unterbrochene Fließwege, etc.) und korrigiert diese gegebenenfalls. Das Grundprinzip besteht aus 3 aufeinanderfolgenden Schritten und ist in Abb. 6 veranschaulicht:

- Schritt 1:
Untersuchung eines Höhenmodells nach abflusslosen Senken und ebenen Flächen (= hydrologische Fehler in einem DEM)
- Schritt 2:
Beim Vorhandensein hydrologischer Fehler, Korrektur des DEMs in einem dritten Schritt, ansonsten Information des Nutzers über die Fehlerfreiheit des Höhenmodells und Beendigung der Routine
- Schritt 3:
Korrektur des Höhenmodells durch die Schaffung eines leichten Gefälles durch jedes Hindernis (Abb. 5). Dabei wird das Höhenmodell nur sehr geringfügig verändert, da das künstliche Gefälle ausschließlich am Hindernis existiert und weniger als 0,002 % beträgt (je nach Größe der Rasterzellen auch noch weniger).

Die Funktion DEM Korrektur wird über den Button () gestartet und überprüft/korrigiert das im View aktivierte Raster. Bei hydrologischer Korrektheit des Höhenmodells wird der User über eine Dialogbox informiert und das DEM bleibt unverändert. Im Falle von hydrologisch wirksamen Fehlern wird ein neues Höhenmodell berechnet und ins gerade aktive View eingefügt. Es hat den gleichen Namen, ergänzt durch den Zusatz „, korrigiert“.

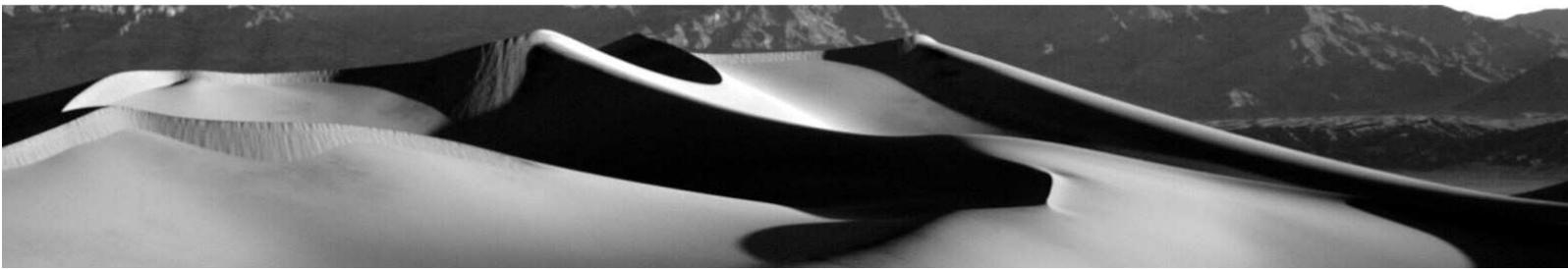
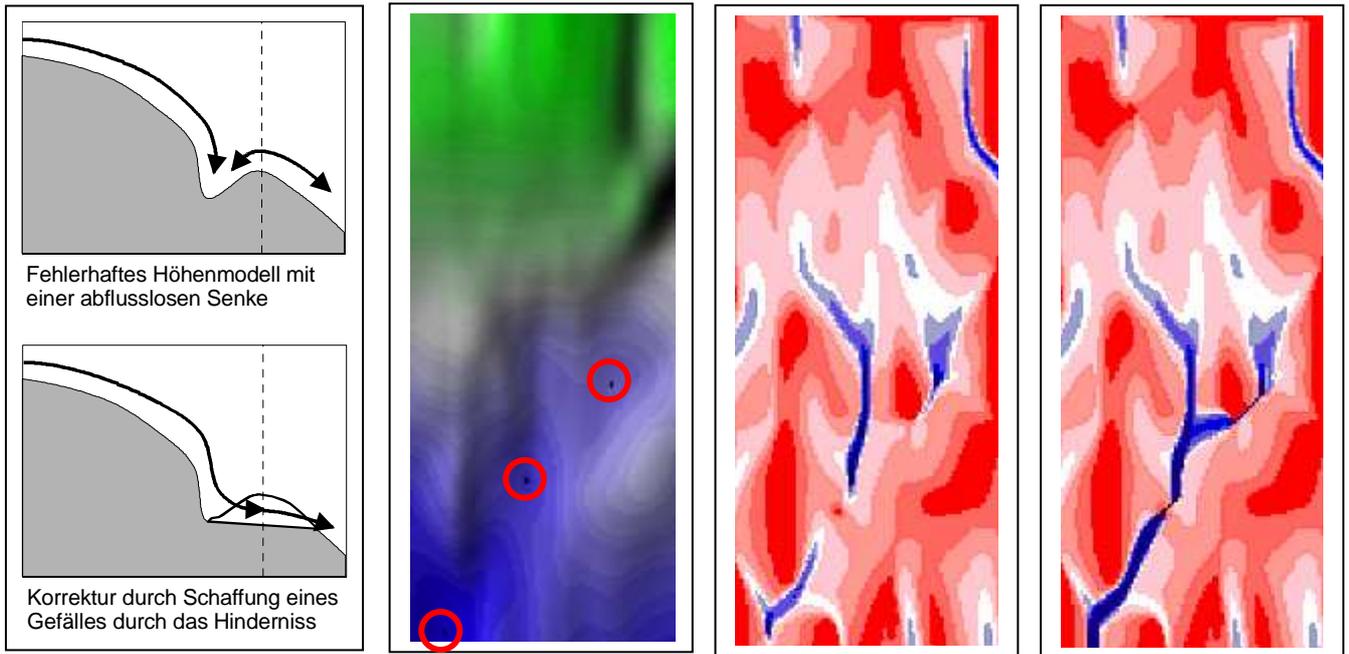
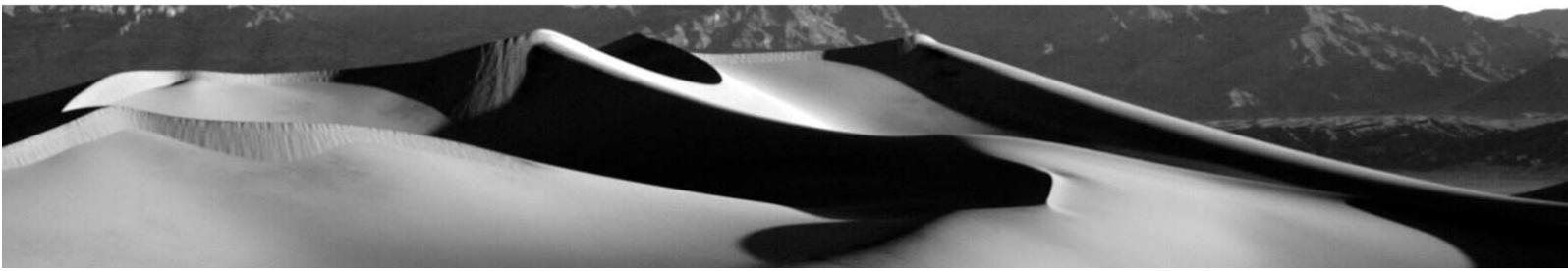


Abbildung 6:

Grundprinzip der Fehlerkorrektur eines digitalen Höhenmodells und Bildbeispiele



Links: Korrektur eines fehlerhaften Höhenmodells mit abflusslosen Senken durch Schaffung eines leichten Gefälles durch das Hindernis (Funktion DEM Korrektur von AV EROSION); **Mitte, links:** Digitales Höhenmodell mit abflusslosen Senken (rot umrandete schwarze Pixel); **Mitte, rechts:** Wasserabfluss, berechnet aus dem linken nicht korrigierten Höhenmodell (Abflussmenge steigt von rot nach blau); **Rechts:** Wasserabfluss, berechnet aus einer korrigierten Version des linken Höhenmodells (Abflussmenge steigt von rot nach blau)



4. Funktionen: Erosionssimulationen

Das Fenster zur Simulation von Bodenerosion, Stoffbilanz und CP_{\max} -Werten

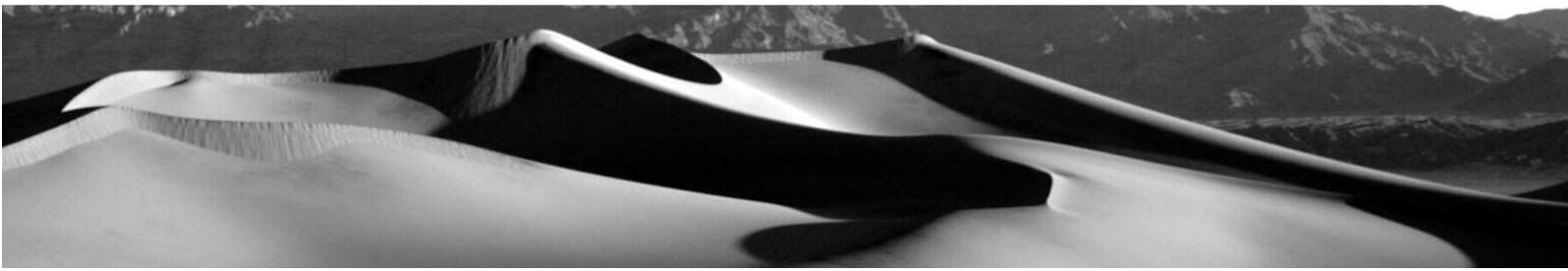
Im Fenster „AV EROSION 1.1“ werden alle Funktionen zur Analyse des Bodenabtrags, der Stoffbilanz und den maximal zulässigen CP_{\max} -Werten Verfügung gestellt: Die dabei benötigten Raster werden im Fenster Rasterdaten ausgewählt, wobei im Falle des R-, K- und C-Faktors auch direkte Zahlenwerte eingegeben werden können (dazu müssen die Kästchen am rechten Rand neben den Auswahlboxen markiert werden; dann erscheint in der jeweiligen Auswahlbox eine Zahlenliste, wo die jeweiligen Werte, die sich dann auf die gesamte Rasterfläche beziehen, ausgewählt werden können). In den Auswahlboxen werden nur Daten angezeigt, die von AV EROSION auch bearbeitet werden können (Rasterdaten und keine Shapefiles oder Images). Standardmäßig kann zwischen zwei zusätzlichen Optionen gewählt werden:

- **MUSLE87 statt USLE:**

Diese Option ist beim Start aktiviert (= MUSLE87, vom Autor empfohlen) und analysiert Bodenabtrag, Stoffbilanz und CP_{\max} -Werte nach den Grundprinzipien der MUSLE87-Erosionsgleichung. Im Gegensatz zur USLE-Erosionsgleichung werden dabei die LS-Werte nicht über die Hanglänge und Single-Flow-Algorithmen berechnet, sondern über die Größe des Einzugsgebiets, das mit Multiple-Flow-Algorithmen berechnet wird (näheres dazu bei Schäuble (1999, 2000), Bork & Schröder (1996) und Hensel (1991).

- **Zwischenschritte:**

Diese Option erlaubt die zusätzliche Ausgabe von Rasterdateien, die zur Berechnung des Bodenabtrags und der CP_{\max} -Werte temporär erstellt wurden (Lambdaraster zur Berechnung des L-Faktors, L-Faktorraster, S-Faktorraster, m-Werteraster, P-Faktorraster, Maske zur Berechnung des LS-Wertes, s.u.). Sie werden normalerweise nicht im Ansichtsfenster ausgegeben und nach der Berechnung wieder gelöscht. Die Ausgabe dient als Kontrolle der berechneten Werte und zur Beantwortung spezieller Fragestellungen.



Im allgemeinen werden nach jeder Berechnung immer 3 Arten von Daten ausgegeben:

1. Ein Raster mit zellengenau errechneten Werten von Bodenabtrag, Stoffbilanz oder CP_{\max} (je nach Funktion)
2. Ein Raster mit schlagbezogenen Werten von Bodenabtrag, Stoffbilanz oder CP_{\max} (je nach Funktion). Dieses Raster wurde aus 1 berechnet, indem die zellengenaue Werte auf die einzelnen Schläge aggregiert wurden (ausgewähltes Raster in der Auswahlbox „Schläge“). Dabei wurden jeweils die Mittelwerte für jeden einzelnen Schlag ermittelt.
3. Eine Tabelle, in der die Mittelwerte (Abtrag, R-, K-, L-, S-, C-, P-Faktor, kritische Hanglänge für Konturbearbeitung) für jeden einzelnen Schlag zusammen mit Schlagnummer und –größe noch einmal aufgeführt sind. Sie wird als Dbase-Tabelle im aktiven Projekt gespeichert und kann mit den üblichen Mitteln zur Weiterverarbeitung aus ArcView exportiert werden. Die Tabelle wird bei den Funktionen „Bruttoerosion“ und „ CP_{\max} -Szenarien“ berechnet, nicht bei der Funktion „Stoffbilanz“.

Die einzelnen Rechenfunktionen und die verwendeten Rechenformeln werden auf den nachfolgenden Seiten beschrieben.

Verwendete Rechenformeln bei der Berechnung der Bodenerosion

1. Grundformel von USLE und MUSLE87:

$$A = R_{\text{fac}} * K_{\text{fac}} * L_{\text{fac}} * S_{\text{fac}} * C_{\text{fac}} \quad (\text{Bodenerosion, Bruttoabtrag ohne Berücksichtigung der Stoffzufuhr})$$

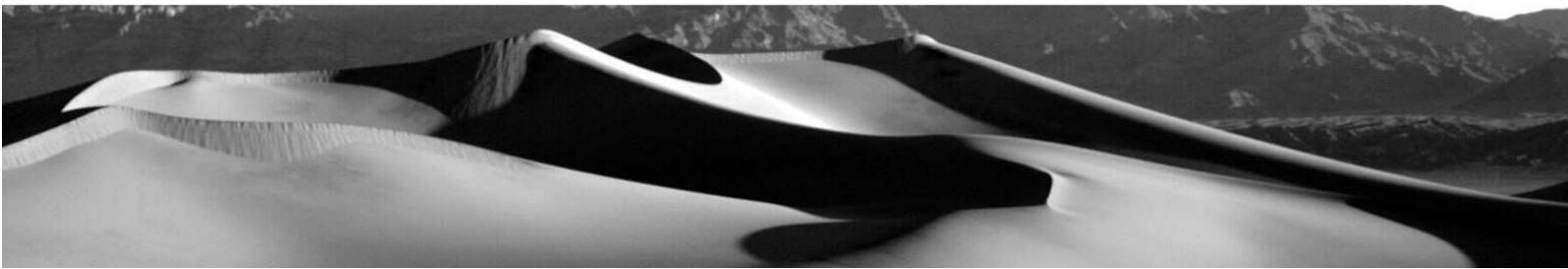
$$A = R_{\text{fac}} * K_{\text{fac}} * L_{\text{fac}} * S_{\text{fac}} * C_{\text{fac}} * P_{\text{eff}} \quad (\text{Erosion kompakt})$$

vgl. Renard et al. (1997), Schwertmann et al. (1990), Bork & Schröder (1996) und Schäuble (1999)

2. Formeln zur Berechnung der Faktoren:

R-Faktor:

R_{fac} : Eingabe über Raster oder direkt eingegebenen Wert, empfohlene Berechnungsformeln bei:
Renard et al. (1997), Schwertmann et al. (1990)



K-Faktor:

K_{fac}: Eingabe über Raster oder direkt eingegebenen Wert, empfohlene Berechnungsformeln bei:
Renard et al. (1997) und Schwertmann et al. (1990)

C-Faktor:

C_{fac}: Eingabe über Raster oder direkt eingegebenen Wert, empfohlene Berechnungsformeln bei:
Renard et al. (1997) und Schwertmann et al. (1990)

S-Faktor:

$S_{\text{flach}} = 10,8 * \sin(\text{Neigung (in } ^\circ)) + 0,03$ (S-Wert für Neigungen < 9%)

$S_{\text{steil}} = 16,8 * \sin(\text{Neigung (in } ^\circ)) - 0,5$ (S-Wert für Neigungen >= 9%)

S_{fac} = Neigung < 9 %, dann S_{flach} ansonsten S_{steil} (S-Faktor)

L-Faktor:

$\beta = (\sin(\text{Neigung (in } ^\circ)) / 0,0896) / (3 * \sin(\text{Neigung (in } ^\circ))^{0,8} + 0,56)$ (β -Wert zur Berechnung von m)

$m = \beta / (1 + \beta)$ (m-Wert)

λ = maximale Fließlänge in m (= USLE) oder

Größe des Einzugsgebiets in Zahl der akkumulierten Zellen * Zellengröße in m (= MUSLE87)

$L_{\text{fac}} = (\lambda_i^{m+1} - \lambda_{i-1}^{m+1}) / ((\lambda_i - \lambda_{i-1}) * 22,13^m)$ (L-Faktor, zellengenau)

P-Faktor:

$P_{\text{vorl}} = 0,4 + 0,02 * \text{Neigung (\%)}$ (vorläufiger P-Faktor)

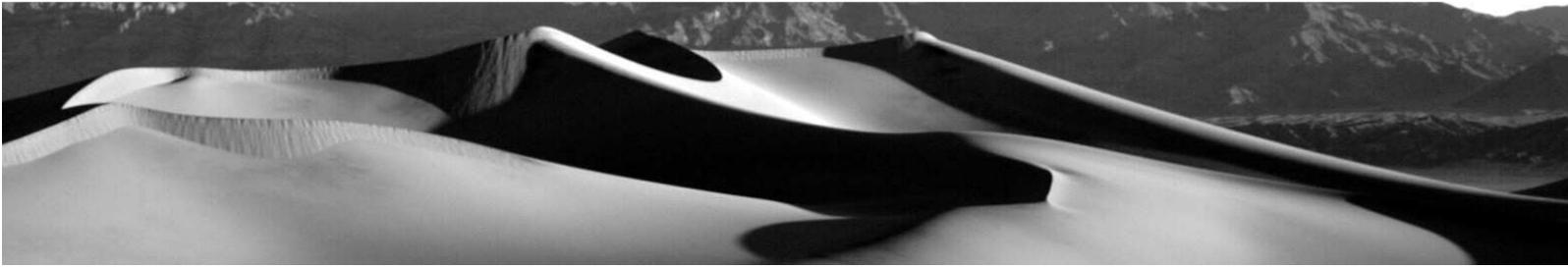
[Regressionsformel mit $r^2 = 0,96$, berechnet aus Klassifizierungsschablone der DIN 19708:2003-05]

$HL_{\text{krit}} = 170 * e^{-0,13 * \text{Neigung (\%)}$ (kritische Hanglänge)

P_{fac} = H_{lreal} < HL_{krit}, dann P_{vorl} ansonsten 1 (P-Faktor)

P_{eff} = P_{fac} unter Berücksichtigung ob tatsächlich Konturpflüfung stattfindet oder nicht

Konturpflüfung = ja, dann P_{fac} ansonsten 1



3. Zusatzformeln zur Berechnung spezieller Größen:

CPmax-Werte:

$$(C*P)_{\max} = A_{\max} / (R*K*L*S) \quad (\text{maximal tolerierbare Nutzungsweisen})$$

Stoffbilanz:

$$A_{\text{saldo}} = A - A_{\text{zufuhr}} \quad (\text{Stoffbilanz, = Nettobodenerosion unter Berücksichtigung von Zufuhr und Abtrag, Fragestellung: Wie verändert sich der Bodenabtrag in abwärtiger Richtung})$$

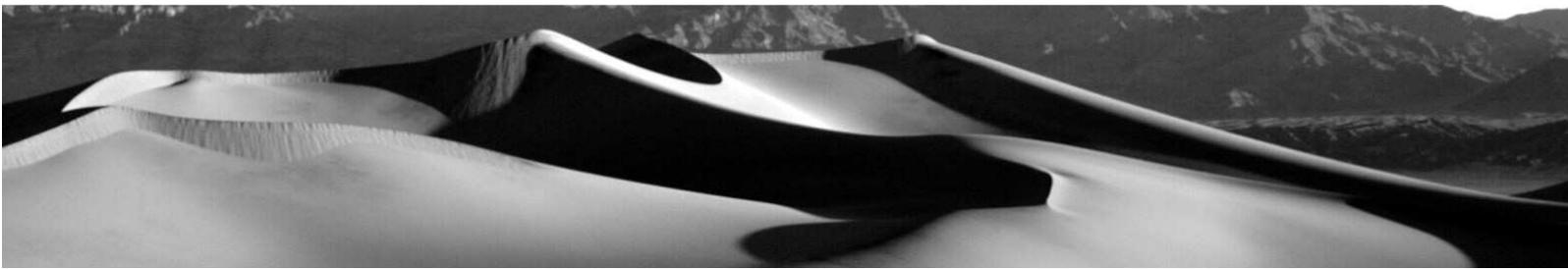
$A_{\text{saldo}} > 0$: Verkürzung des Bodenprofils (= Erosion vor Ort größer als oberhalb)
 $A_{\text{saldo}} = 0$: Bodenprofil bleibt unbeeinflusst
 $A_{\text{saldo}} < 0$: Akkumulation von Bodenmaterial (= Erosion vor Ort kleiner als oberhalb)

vgl. dazu Hensel (1991) und Schäuble (1999)

Bruttoerosion

Funktion, mit welcher der Bodenabtrag nach den Prinzipien der USLE bzw. MUSLE87-Erosionsgleichung berechnet werden kann (= Bruttobodenabtrag; Formel: $A = R*K*L*S*C*P$). Es werden insgesamt 5 Raster benötigt, die aus folgenden Auswahlboxen selektiert werden können (vgl. Abb. 7):

- Auswahlbox „Schläge“: Integerraster mit Ackerflächen, die durch unterschiedliche ID-Werte charakterisiert werden (= Valuewert des Integerrasters). NoData Werte im Schlagraster kennzeichnen hydrologisch wirksame Grenzen, die den Wasserfluss und damit die Erosion stoppen (relevant zur Berechnung des LS-Faktors). Die ID-Werte im Schlägeraster dienen ferner zur Kennzeichnung der unterschiedlichen Ackerflächen in der zusätzlich erstellten Analysetabelle (s.u..)
- Auswahlbox „Relief“: Digitales Höhenmodell, wichtig zur Berechnung des LS-Faktors. NoData Werte im Höhenmodell kennzeichnen ebenso wie die selben Werte im Schlagraster hydrologisch wirksame Grenzen und werden bei der Berechnung des LS-Faktors berücksichtigt. Das Höhenmodell muss hydrologisch korrekt sein (vgl. S.X).
- Auswahlbox „R-Faktor“: Raster zu Niederschlagserosivität (= R-Faktor). Es besteht die Möglichkeit, ein bestehendes Raster zu wählen, oder einen einheitlichen Zahlenwert. Zur Wahl eines einheitlichen Zahlenwertes muss das rechte Kästchen neben der Auswahlbox selektiert werden. Dadurch

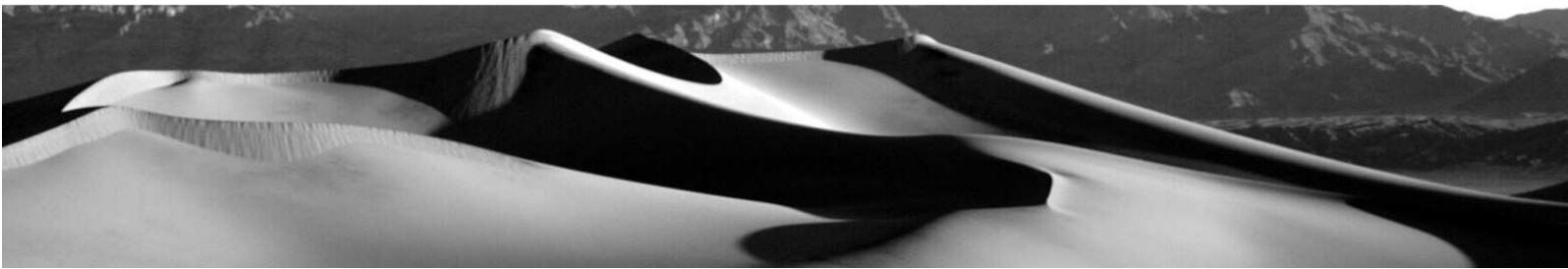


zeigt die Auswahlbox nicht mehr die im Ansichtsfenster vorhandenen Raster, sondern Zahlenwerte, aus denen dann AV EROSION ein einheitliches Raster erstellt (z.B. Zahlenwert 34 ergibt ein R-Faktorraster mit einem durchgehenden Wert von 34). Nützlich, wenn kein R-Raster vorhanden ist, oder nur kleine Flächen untersucht werden sollen. NoData-Werte in diesem Raster werden bei der Berechnung nur insofern berücksichtigt, als sie im Ergebnisraster zu sehen sind, sie spielen dagegen keine Rolle bei der Berechnung des LS-Werts.

- Auswahlbox „K-Faktor“: Raster zur Bodenerodibilität (= K-Faktor). Die Bedienung und Funktionalität entspricht der Auswahlbox „R-Faktor“.
- Auswahlbox „C-Faktor“: Raster zur Schutzwirkung der Vegetation (= C-Faktor). Die Bedienung und Funktionalität entspricht der Auswahlbox „R-Faktor“.

Neben den Auswahlboxen können noch zwei Optionen gewählt werden: „MUSLE87 statt USLE“ und „Zwischenschritte“ (vgl. dazu S.5). Ein Druck auf den Button „Start“ startet die Berechnung. Es werden mindestens 3 Dateien erstellt:

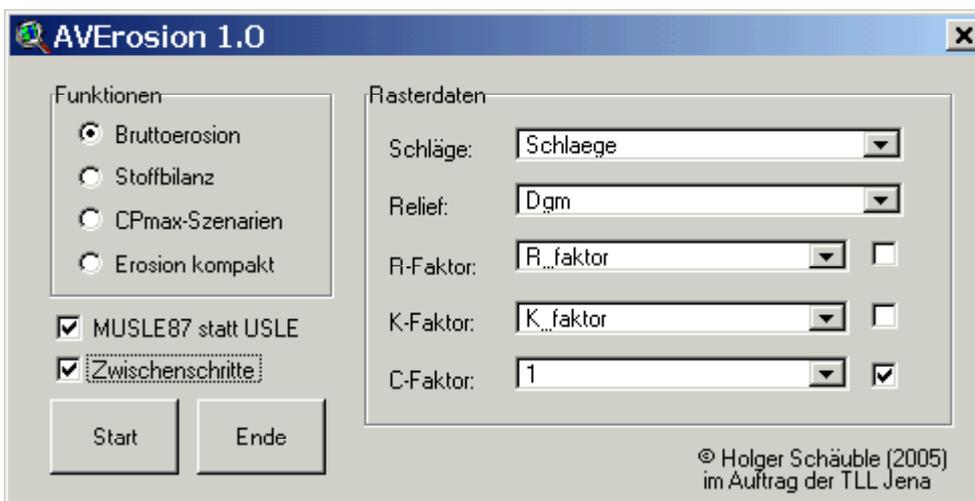
- Ein Raster mit zellengenau berechneten Werten zur Bodenerosion (= A-Wert der USLE bzw. MUSLE87). Diese Raster zeigt den punktgenauen Abtrag jeder einzelnen Zelle (= Bruttoerosion), d.h. den mittleren Bodenverlust in t/ha/a. Das Raster hat den Namen „Erosion (Zellen)“.
- Ein Raster mit schlagspezifischen Werten zur Bodenerosion (= A-Wert der USLE bzw. MUSLE87). Diese Raster zeigt den mittleren Bodenabtrag auf jeder spezifischen Ackerfläche (= Schlag, d.h. aggregierte Werte auf Grundlage des ausgewählten Schlagrasters). Auch hier ist die Einheit dieselbe wie oben: t/ha/a. Das Raster hat den Namen „Erosion (Schläge)“.
- Eine Tabelle mit schlagspezifischen Werten zur Bodenerosion, Größe des Schlages, den einzelnen Faktoren und Zwischenwerten bei der Berechnung, Lambda-Wert, Analysemaske (= Schlagraster mit einkopierten NoData-Werten des Höhenmodells), kritische Hanglänge zur Berechnung des P-Faktors, R-Faktor, K-Faktor, L-Faktor, S-Faktor, C-Faktor, berechneter P-Faktor und m-Wert (Abb. 8). Alle Werte sind Mittelwerte der einzelnen Schläge. Die Tabelle ist im dBase-Format abgespeichert und hat den Namen „Bruttoerosion: [+Datum + Zeit der Berechnung]“. Informationen über die Art der durchgeführten Berechnungen und die dabei verwendeten Daten finden sich in der Spalte „Information“ bzw. unter „Tabelle – Eigenschaften...“ (Table – Properties...). Wichtig: $A_Mittel \Leftrightarrow R_Mittel * K_Mittel * L_Mittel * S_Mittel *$



C_Mittel (nicht deckungsgleich, da der mittlere Bodenaustrag aus dem zellengenau gewonnenen Austrag gewonnen wird!!)

Abbildung 7:

Berechnung der Bruttoerosion nach MUSLE87 mit ausgewählten Analyseoptionen

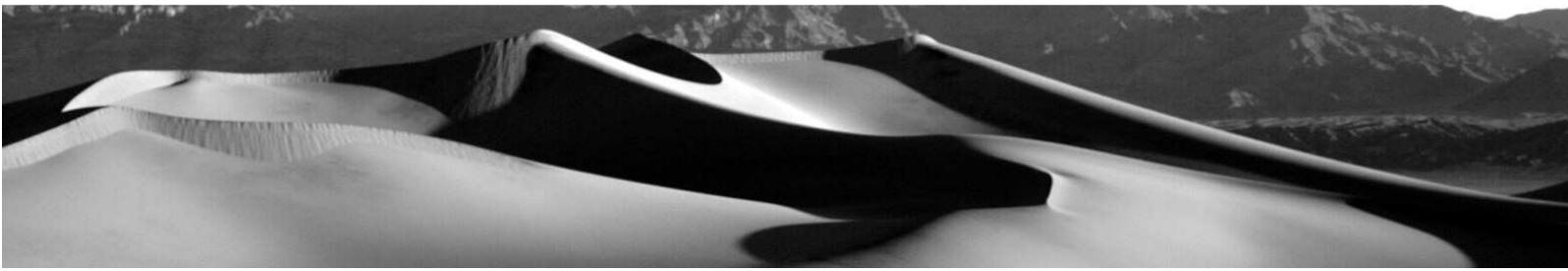


Ausgewählte Optionen: Rasterdateien im aktuellen Ansichtsfenster, Schlaege, Dgm, R-faktor, K-faktor. Beim C-Faktor wurde hier kein Raster ausgewählt, sondern ein einheitlicher Wert aus einer fallspezifischen Auswahlliste (= 1, C-Faktor bei Schwarzbrache). Aus diesem Zahlenwert erstellt AV EROSION automatisch ein einheitliches Raster mit dem Wert 1, das bei den nachfolgenden Berechnungen verwendet wird.

Abbildung 8:

Auswertungstabelle mit schlagbezogenen Mittelwerten

ID	Graesse	A_Mittel	R_Mittel	K_Mittel	L_Mittel	S_Mittel	C_Mittel	P_Mittel	Lambda_Mittel	m_Mittel	HLk_Mittel
1	74100	10.20	64.00	0.33	1.85	0.36	1.00	0.60	158.94	0.33	126.62
2	161525	14.05	64.00	0.35	1.83	0.33	1.00	0.62	93.89	0.29	118.86
3	103025	18.40	64.00	0.34	2.12	0.37	1.00	0.71	130.52	0.31	113.85
4	7025	4.35	64.00	0.17	1.23	0.37	1.00	0.46	26.63	0.34	114.09
5	4700	2.32	64.00	0.14	0.75	0.35	1.00	0.46	6.62	0.31	116.23
6	8250	2.99	64.00	0.17	0.73	0.36	1.00	0.46	6.38	0.31	115.83
7	24075	6.04	64.00	0.14	1.54	0.40	1.00	0.55	53.64	0.28	112.04
8	105100	15.11	64.00	0.17	2.34	0.72	1.00	0.74	94.73	0.42	87.11
9	4475	2.97	64.00	0.31	1.11	0.14	1.00	0.42	28.42	0.15	149.74
10	6675	4.27	64.00	0.28	0.93	0.26	1.00	0.44	11.95	0.27	129.09
11	293650	21.65	64.00	0.34	1.71	0.59	1.00	0.67	181.65	0.26	123.19
12	132625	21.20	64.00	0.37	2.10	0.43	1.00	0.68	107.25	0.33	106.61
13	28875	11.27	64.00	0.37	1.64	0.29	1.00	0.56	72.91	0.29	124.74
14	43050	10.08	64.00	0.14	1.84	0.64	1.00	0.60	49.99	0.44	83.97
15	77825	20.56	64.00	0.14	1.99	1.08	1.00	0.72	47.87	0.47	60.31
16	29150	10.34	64.00	0.27	1.82	0.34	1.00	0.61	89.83	0.32	118.15
17	3900	5.06	64.00	0.20	1.16	0.34	1.00	0.46	22.56	0.31	117.96



Stoffbilanz

Funktion, welche die Stoffbilanz nach den Prinzipien der MUSLE87-Erosiongleichung berechnet (= Nettoerosion; vgl. dazu Hensel (1991) und Schäuble (1999)) (vgl. Abb. 9). Im Unterschied zur Bruttoerosion (= Bodenverlust ohne Berücksichtigung des von oben zugeführten Bodenmaterials), zeigt die Stoffbilanz das Ergebnis der erosiven Vorgänge (Kappung des Bodenprofils, Akkumulation oder ein unbeeinflusstes Bodenprofil). Zur Berechnung werden nur zwei Raster benötigt: ein zuvor mit der Funktion „Bruttoerosion“ erstelltes Erosionsraster (mit der zellengenau ermittelten Erosion nach der MUSLE87, d.h. das Raster „Erosion (Zellen)“) und ein digitales Höhenmodell des jeweiligen Gebiets. Auch hier können die jeweils errechneten Zwischenraster optional ausgegeben werden (durch Aktivierung der Option „Zwischenschritte“). Die Auswahlmöglichkeit „MUSLE87 statt USLE“ ist standardmäßig aktiviert und kann nicht verändert werden, da bei der USLE ist diese Art der Berechnung nicht vorgesehen ist. Ein Druck auf den Button „Start“ startet die Berechnung. Im Gegensatz zur Bruttoerosion wird nur ein Ergebnisraster „Stoffbilanz“ und darüber hinaus auch keine Auswertungstabelle erstellt (da kein Schlagraster verwendet wird; bei Verwendung eines Schlagrasters wäre die Stoffbilanz ohnehin 0, da kein Transport über NoData-Werte, welche dort die Grenzen markieren stattfindet). Die Werte im Stoffbilanzraster bedeuten folgendes:

Werte < 0: effektiver Gewinn an Bodenmaterial in t/ha/a (= Akkumulation, blaue Farbe)

Werte = 0: kein Gewinn oder Verlust an Bodenmaterial, nur Umlagerung. Hier halten sich Erosion und Zufuhr von oben die Waage (weiße oder schwach eingefärbte Farbtöne)

Werte > 0: effektiver Verlust an Bodenmaterial in t/ha/a (= Verkürzung des Bodenprofils, rote Farbe)

Das augenscheinlich verkehrte Vorzeichen (negative Werte kennzeichnen effektive Zufuhr, positive Werte kennzeichnen effektive Abfuhr) erklärt sich daraus, dass die Veränderung der Bruttoerosion zu den direkt oberhalb liegenden Pixeln berechnet wird: Lässt die Erosion hangabwärts nach (= Werte < 0, z.B. oben 10t/ha/a und direkt darunter 9t/ha/a), dann ergibt dies eine negative Bilanz in Hangrichtung. Dies entspricht jedoch einem effektiven Gewinn an Bodenmaterial, da eine Reduzierung von (Boden)verlustwerten einem effektiven Gewinn entspricht. Bei Aktivierung der Zwischenschrittausgabe werden zusätzlich noch 3 Raster eingefügt: Analysemaske (= kombinierte NoData-Werte der beiden Ausgangsraster), Größe des Einzugsgebiets („Einzugsgebiet“) in Pixeln und ein Raster mit der durchschnittlichen Bruttoerosion im rückwärtigen Einzugsgebiet („A_Einzugsgebiet_i“). Näheres dazu vgl. Schäuble (1999).

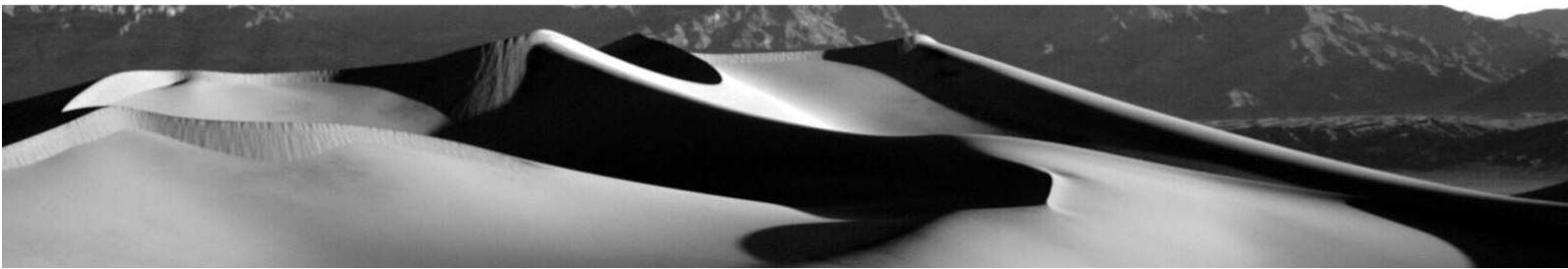
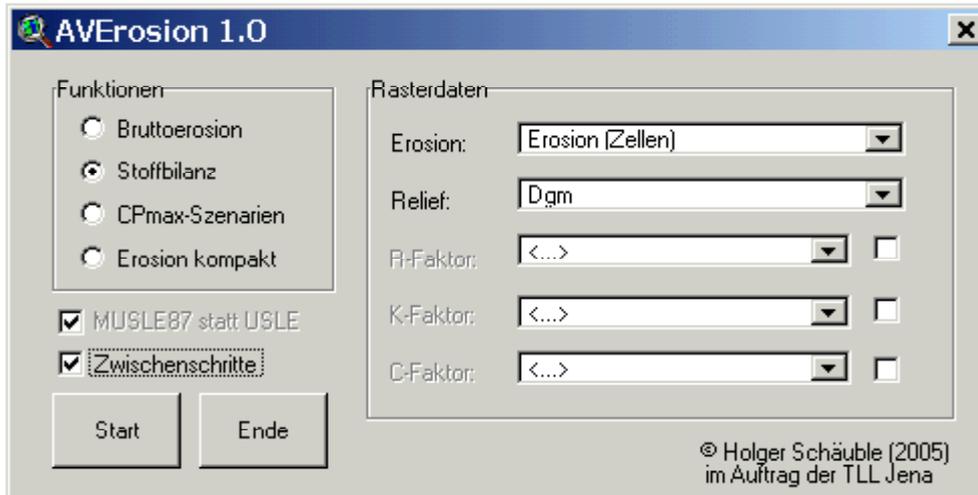


Abbildung 9:

Berechnung der Stoffbilanz nach MUSLE87 mit ausgewählten Analyseoptionen

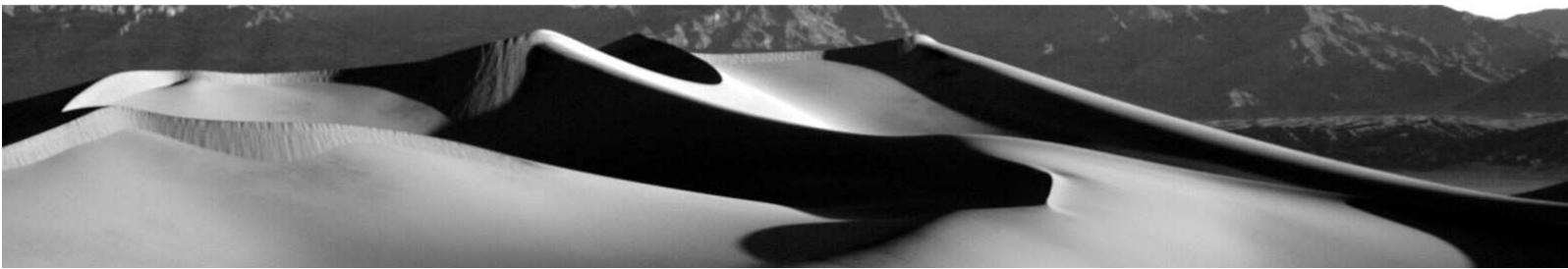


CPmax-Szenarien

Funktion, welche die maximal zulässige Nutzungsintensität bestimmt (= CP_{max} -Werte), die zur Unterschreitung eines bestimmten Bodenabtrags gerade noch zulässig ist (vgl. Abb. 10). Die Berechnungsschritte entsprechen weitgehend denjenigen der Funktion Bruttoerosion. Der einzige Unterschied liegt darin, dass hier anstatt eines C-Faktorrasters, ein Toleranzraster verwendet wird:

- Auswahlfenster „Toleranz“: Raster mit Angaben zum maximal zulässigen Bodenabtrag in t/ha/a (= T-Werte). Auch hier besteht wieder die Möglichkeit, entweder ein bestehendes Raster oder aber einen einheitlichen Zahlenwert zu wählen (vgl. Auswahlbox zum R-Faktor bei der Funktion Bruttoerosion auf S. 8)

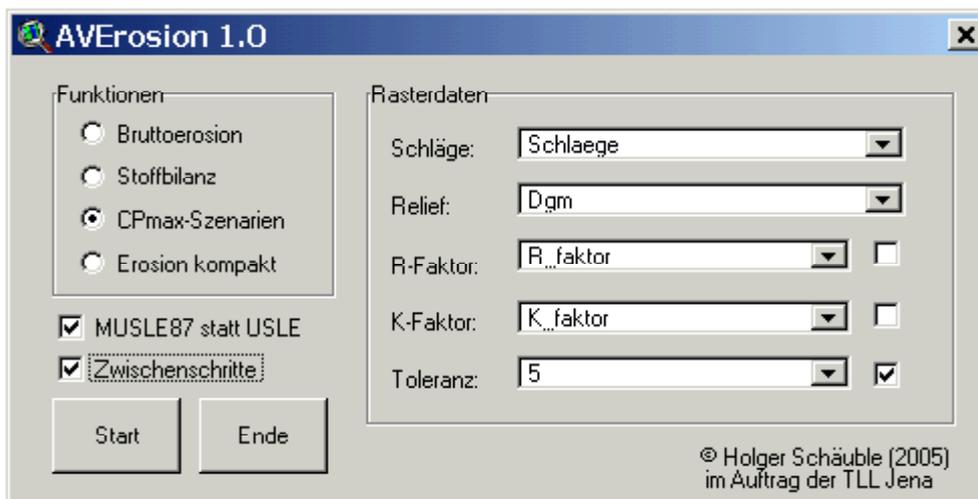
Ein Druck auf den Button „Start“ startet die Berechnung. Die ausgegebenen Dateien entsprechen denen der Funktion Bruttoerosion (eine Auswertungstabelle, zwei Ergebnisraster und je nach Aktivierung der Option „Zwischenschritte“ noch weitere Raster, die im Zuge der Berechnung erstellt worden sind). Im Unterschied haben die Ergebnisdateien aber etwas andere Namen:



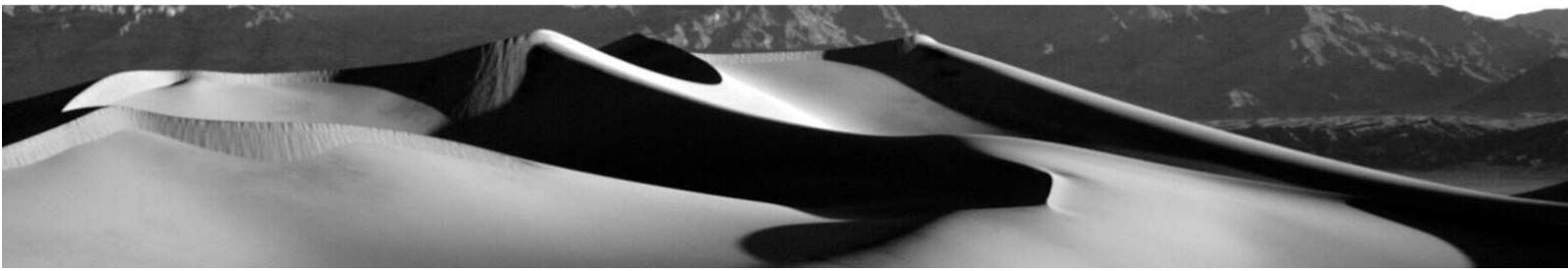
- „CPmax (Zellen)“: maximal zulässige Nutzungsintensitäten (= Werte von C*P) für jede einzelne Zelle
- „CPmax (Schläge)“: maximal zulässige Nutzungsintensitäten (= Werte von C*P) für die einzelnen Felder, d.h. die mittleren CPmax-Werte für die dortigen Flächen
- Auswertungstabelle „Nutzungsintensität [+Datum + Zeit der Berechnung]“: Auswertungstabelle mit schlagbezogenen Werten. Entspricht exakt der Auswertungstabelle, die bei Berechnung der Bruttoerosion erstellt wird. Allerdings wird hier die Spalte „A_Mittel“ durch die Spalte „CPmax_Mittel“ ersetzt.

Abbildung 10:

Berechnung der maximalen Nutzungsintensität mit ausgewählten Analyseoptionen



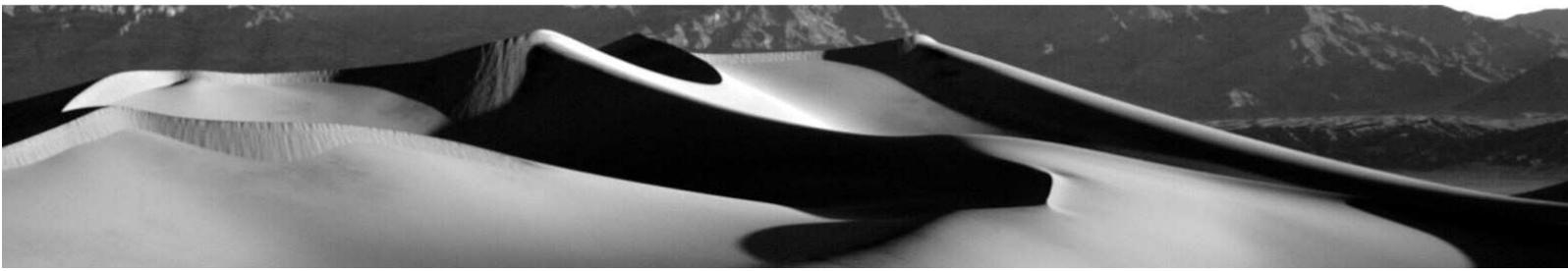
Ausgewählte Optionen: Rasterdateien im aktuellen Ansichtsfenster, Schlaege, Dgm, R-faktor, K-faktor. Im Gegensatz zur Bruttoerosion wird hier kein C-Faktor, sondern ein sogenannter T-Wert benötigt (= maximal tolerabler Bodenabtrag in t/ha/a; Auswahlbox „Toleranz“). In diesem Beispiel wurde der maximal tolerierbare Bodenabtrag auf einen einheitlichen Wert von 5t/ha/a festgelegt.



Erosion kompakt

Spezielle Funktion, mit welcher der Bodenabtrag nach den Prinzipien der USLE bzw. MUSLE87-Erosionsgleichung berechnet werden kann (= Bruttobodenabtrag; Formel: $A = R * K * L * S * C * P$). Im Gegensatz zur Funktion „Bruttoerosion“ ist sie weniger flexibel, dafür aber schneller in der Anwendung und berücksichtigt zusätzlich die im Feld gewonnenen Angaben zur Anbaufrucht (realer C-Faktor), zum Konturpflügen (P-Faktor im Feld) und vom maximal tolerierbaren Bodenabtrag (Toleranzwert in ha/a). Damit eignet sich „Erosion kompakt“ insbesondere zur schnellen Beurteilung der tatsächlichen Erosionsgefährdung. Es werden insgesamt 4 Raster benötigt, die aus folgenden Auswahlboxen selektiert werden können (vgl. Abb. 11):

- Auswahlbox „Schläge“: Integerraster mit Ackerflächen, die durch unterschiedliche ID-Werte charakterisiert werden (= Valuewert des Integerrasters). NoData Werte im Schlagraster kennzeichnen hydrologisch wirksame Grenzen, die den Wasserfluss und damit die Erosion stoppen (relevant zur Berechnung des LS-Faktors). Die ID-Werte im Schlägeraster dienen ferner zur Kennzeichnung der unterschiedlichen Ackerflächen in der zusätzlich erstellten Analysetabelle (s.u.). Im Unterschied zur Funktion „Bruttoerosion“ benötigt das Integerraster jedoch noch zusätzliche Spalten mit Angaben zum C-Faktor, zur Konturnutzung und zum maximal tolerablen Bodenabtrag. Diese sind in Abb. 12 rot umrandet. Die dort aufgeführten Spaltennamen sind obligatorisch, alternative Bezeichnungen werden nicht akzeptiert (über Veränderungen im Quelltext können diese jedoch beliebig angepasst werden).
- Auswahlbox „Relief“: Digitales Höhenmodell, wichtig zur Berechnung des LS-Faktors. NoData Werte im Höhenmodell kennzeichnen ebenso wie die selben Werte im Schlagraster hydrologisch wirksame Grenzen und werden bei der Berechnung des LS-Faktors berücksichtigt. Das Höhenmodell muss hydrologisch korrekt sein (vgl. S. 5).
- Auswahlbox „R-Faktor“: Raster zu Niederschlagserosivität (= R-Faktor). Es besteht die Möglichkeit, ein bestehendes Raster zu wählen, oder einen einheitlichen Zahlenwert. Zur Wahl eines einheitlichen Zahlenwertes muss das rechte Kästchen neben der Auswahlbox selektiert werden. Dadurch zeigt die Auswahlbox nicht mehr die im Ansichtsfenster vorhandenen Raster, sondern Zahlenwerte, aus denen dann AV EROSION ein einheitliches Raster erstellt (z.B. Zahlenwert 34 ergibt ein R-Faktorraster mit einem durchgehenden Wert von 34). Nützlich, wenn kein R-Raster vorhanden ist, oder nur kleine Flächen untersucht werden sollen. NoData-Werte in diesem Raster werden bei der Berechnung nur insofern berücksichtigt, als sie im Ergebnisraster zu sehen sind, sie spielen dagegen keine Rolle bei der Berechnung des LS-Werts.



- Auswahlbox „K-Faktor“: Raster zur Bodenerodibilität (= K-Faktor). Die Bedienung und Funktionalität entspricht der Auswahlbox „R-Faktor“.
- Auswahlbox „C-Faktor“: im Gegensatz zur Funktion „Bruttoerosion“ hier inaktiv, da der C-Faktor über die dem Schlagraster zugeordnete Tabelle gewonnen wird.

Neben den Auswahlboxen können noch zwei Optionen gewählt werden: „MUSLE87 statt USLE“ und „Zwischenschritte“ (vgl. dazu S.5). Ein Druck auf den Button „Start“ startet die Berechnung. Es werden mindestens 3 Dateien erstellt:

- Ein Raster mit zellengenau berechneten Werten zur Bodenerosion (= A-Wert der USLE bzw. MUSLE87). Diese Raster zeigt den punktgenauen Abtrag jeder einzelnen Zelle (= Bruttoerosion), d.h. den mittleren Bodenverlust in t/ha/a. Das Raster hat den Namen „Erosion (Zellen)“. Im Vergleich zum Raster, welches mit der Funktion „Bruttoerosion“ erzeugt worden ist, sind aber hier die effektiven P-Werte mit in die Berechnung eingeflossen (d.h. der aus dem Relief und den Ackergrenzen abgeleitete potentielle P-Faktor (vgl. Formeln) wird nur dann berücksichtigt, wenn auch tatsächlich eine Konturpflügung im Feld stattfindet (P-info-Feld mit Werten von 1). Ansonsten wird der P-Faktor an der entsprechenden Stelle in jedem Fall auf 1 gesetzt (= d.h. kein Einfluss über Konturnutzung).
- Ein Raster mit schlagspezifischen Werten zur Bodenerosion (= A-Wert der USLE bzw. MUSLE87). Diese Raster zeigt den mittleren Bodenabtrag auf jeder spezifischen Ackerfläche (= Schlag, d.h. aggregierte Werte auf Grundlage des ausgewählten Schlagrasters). Auch hier ist die Einheit dieselbe wie oben: t/ha/a. Das Raster hat den Namen „Erosion (Schläge)“.
- Eine Tabelle mit schlagspezifischen Werten zur Bodenerosion, tolerierbarem Bodenabtrag, Handlungsbedarf, den einzelnen Faktoren und Zwischenwerten bei der Berechnung, etc. (vgl. Abb. 13). Alle Werte sind Mittelwerte der einzelnen Schläge. Die Tabelle ist im dBase-Format abgespeichert und hat den Namen „Erosion kompakt: [+Datum + Zeit der Berechnung]“. Informationen über die Art der durchgeführten Berechnungen und die dabei verwendeten Daten finden sich in der Spalte „Information“ bzw. unter „Tabelle – Eigenschaften...“ (Table – Properties...). Wichtig: $A_Mittel \langle \rangle R_Mittel * K_Mittel * L_Mittel * S_Mittel * C_Mittel * Peff_Mittel$ (nicht deckungsgleich, da der mittlere Bodenaustrag aus dem zellengenau gewonnenen Austrag gewonnen wird!!)

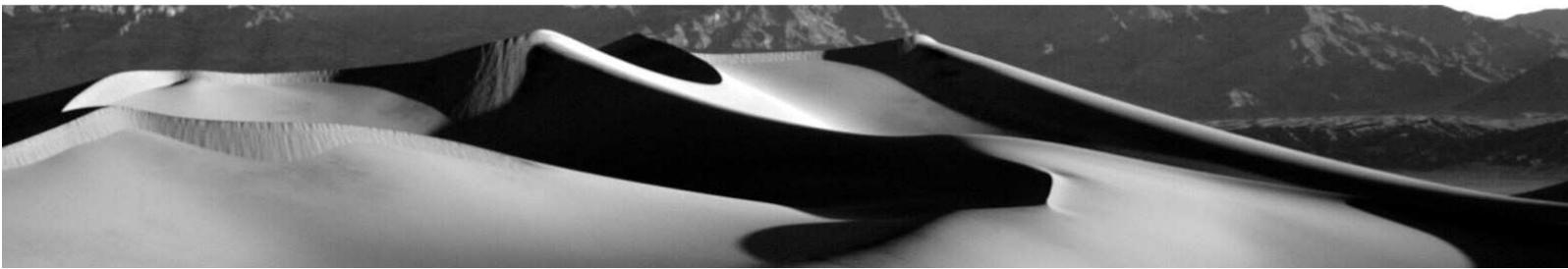
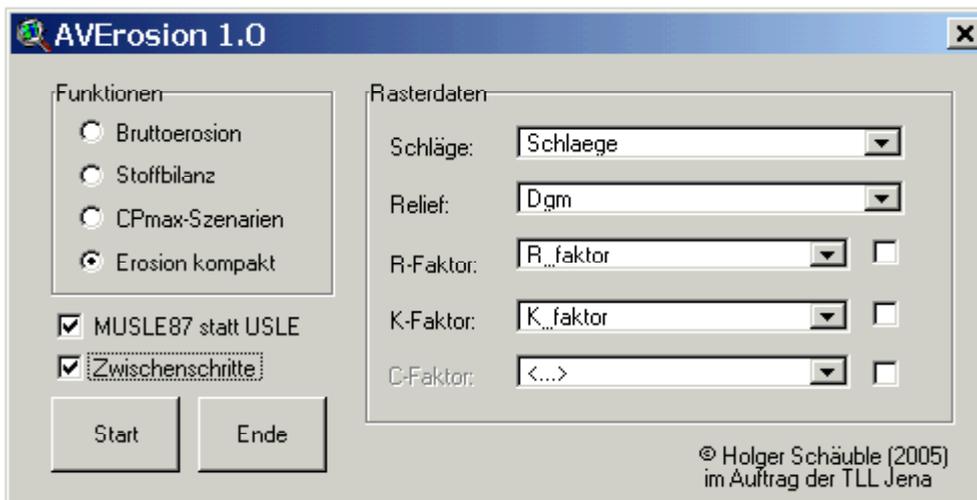


Abbildung 11:

Berechnung der modifizierten Bodenerosion („Erosion kompakt“) nach MUSLE87 mit ausgewählten Analyseoptionen



Ausgewählte Optionen: Rasterdateien im aktuellen Ansichtsfenster, Schlaege, Dgm, R-faktor, K-faktor. Das Auswahlfenster zum C-Faktor ist inaktiv, da entsprechende Werte (wie auch Angaben zur Konturnutzung und zum tolerablen Bodenabtrag) der zugeordneten Tabelle des Schlagrasters entnommen werden.

Abbildung 12:

Attributtabelle des Schlagrasters (= Raster im Auswahlfenster Schläge) mit notwendigen Angaben

Value	Count	Name	Schlagnr	Flaeche	Code	To_babtrag	C_faktor	P_info
1	8256	46-1Stern02wR	46-1	20.6613		3.50	0.13000	1.00000
3	15962	46-3 Stern02wGMärger	46-3	39.9510		3.25	0.13000	1.00000
4	4423	81 Golbig links	81	11.0588		3.75	0.13000	1.00000
5	12430	83 Golbig rechts	83	31.0552		4.63	0.12500	1.00000
6	10999	85 Lehmgrube	85	27.4853		4.75	0.12500	1.00000
7	1038	86 Siegmunds Bühl Fe	86	2.6036		3.75	0.12500	1.00000
8	1311	86 Siegmunds Bühl 1	86	3.2735		3.50	0.12500	1.00000
9	4452	88 Hofgelänge Kirsch	88	11.1247		4.63	0.12500	1.00000
10	7029	89 Espig2	89	17.5565		4.75	0.12500	1.00000
11	1762	91 Löhmaer Weg links	91	4.4052		4.75	0.12500	1.00000
12	3578	91 Löhmaer Weg recht	91	8.9635		3.75		
13	5035	92 Hain	92	12.5809		4.50		

Attributtabelle des Rasters von Auswahlfenster „Schläge“. Im Prinzip können beliebig viele Spalten enthalten sein, unabdingbar sind jedoch folgende Spalten (= rot umrandet): „To_babtrag“ (= tolerierbarer Bodenabtrag), „C-faktor“ (C-Faktor im Feld) und „P_info“ (Angaben zur Konturnutzung; 1 = Konturpflügen, 0 = kein Konturpflügen). Bei nicht vorhandenen Angaben (= Lücken in Tabelle) wird ein C-Faktor von 0 angenommen (keine Erosion), ein tolerabler Bodenabtrag von 0 und eine konventionelle Nutzung (= kein Konturpflügen, d.h. die aus dem Relief berechneten P-Faktoren kommen nicht zur Anwendung)

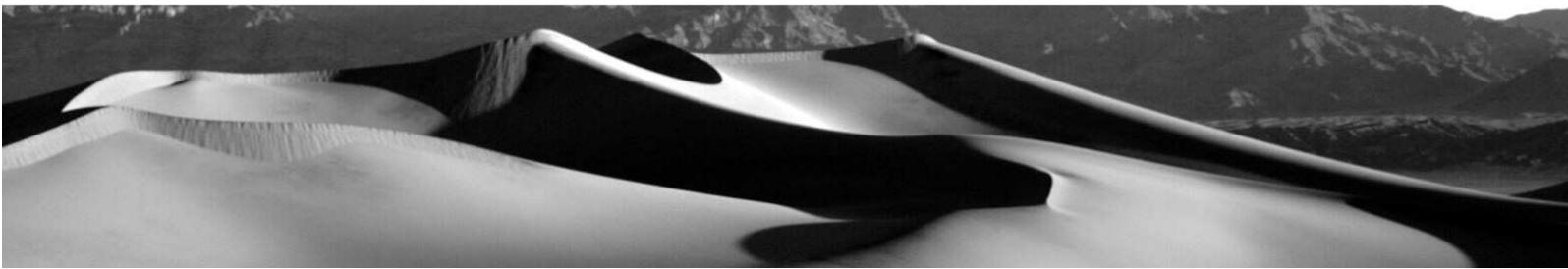


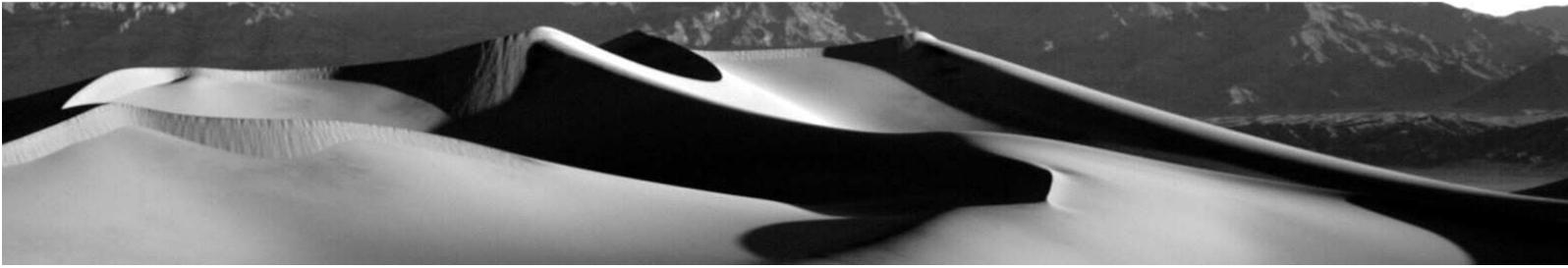
Abbildung 13:

Auswertungstabelle mit schlagbezogenen Mittelwerten

Bruttoerosion: 13.5.2005 17:26																
ID	Groesse	A_Mittel	Res_Mittel	R_Mittel	K_Mittel	L_Mittel	S_Mittel	C_Mittel	F_Mittel	Pinf_Mittel	Peff_Mittel	Tv_Mittel	Lambda_Mittel	m_Mittel	HLk_Mittel	
1	206400	6.89	-3.39	79.00	0.35	2.77	0.68	0.13	0.80	1.00	0.80	3.50	207.85	0.38	87.49	
3	399050	11.36	-8.11	79.00	0.34	4.01	0.83	0.13	0.90	1.00	0.90	3.25	298.04	0.42	71.97	
4	110575	11.81	-8.06	79.00	0.33	2.94	1.16	0.13	0.82	1.00	0.82	3.75	119.60	0.46	57.18	
5	310750	4.19	0.44	79.00	0.38	2.46	0.51	0.13	0.75	1.00	0.75	4.63	167.86	0.36	99.12	
6	274975	4.38	0.37	79.00	0.36	2.53	0.49	0.13	0.79	1.00	0.79	4.75	213.05	0.33	101.91	
7	25950	3.14	0.61	79.00	0.34	1.65	0.72	0.13	0.60	1.00	0.60	3.75	42.13	0.37	86.27	
8	32775	1.62	1.88	79.00	0.35	1.58	0.45	0.13	0.54	1.00	0.54	3.50	47.50	0.33	103.97	
9	111300	6.78	-2.15	79.00	0.35	2.36	0.84	0.13	0.77	1.00	0.77	4.63	88.01	0.42	76.77	
10	175725	12.27	-7.52	79.00	0.35	3.89	1.02	0.13	0.88	1.00	0.88	4.75	317.08	0.50	60.76	
11	44050	16.77	-12.02	79.00	0.37	3.08	1.36	0.13	0.87	1.00	0.87	4.75	113.67	0.51	45.67	
12	89450	0.00	3.75	79.00	0.33	2.25	0.99	0.00	0.74	0.00	1.00	3.75	76.71	0.46	64.60	
13	125875	0.00	4.50	79.00	0.35	3.12	0.85	0.00	0.80	0.00	1.00	4.50	193.01	0.47	70.34	
14	106025	0.00	4.50	79.00	0.35	2.93	0.83	0.00	0.81	0.00	1.00	4.50	197.99	0.41	74.54	
15	12150	0.00	4.25	79.00	0.35	2.73	0.70	0.00	0.75	0.00	1.00	4.25	259.61	0.43	84.56	
17	159200	0.00	4.75	79.00	0.35	2.18	0.77	0.00	0.74	0.00	1.00	4.75	105.92	0.36	81.86	

Legende zu den Einzelnen Analysespalten:

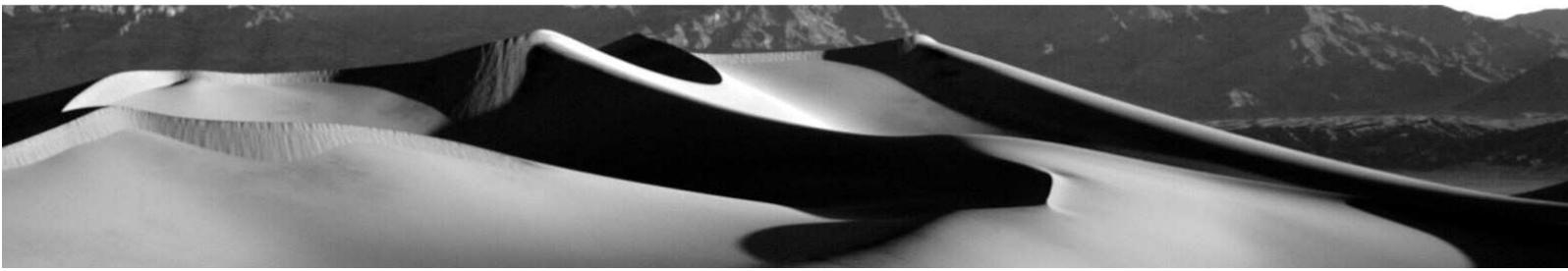
- ID: Id-Wert, entspricht dem Valuewert im ausgewählten Schlagraster
- Groesse: Größe des Schlages in m2
- A_Mittel: Mittlerer Bodenabtrag im jeweiligen Schlag, berechnet unter Verwendung aller Elemente der USLE-Formel und unter besonderer Berücksichtigung der gegenwärtigen Nutzungen (d.h. mit $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot Peff$, vgl. Rechenformeln S. 8)
- Res_Mittel: Bodenabtrag in t/ha/a, der über dem tolerablen Bodenabtrag liegt, berechnet mit $Tv_Mittel - A_Mittel$ (= tolerierbarer Bodenabtrag), negative Werte zeigen Handlungsbedarf an
- R-Mittel: Mittlerer R-Faktor im jeweiligen Schlag
- K-Mittel: Mittlerer K-Faktor im jeweiligen Schlag
- L-Mittel: Mittlerer L-Faktor im jeweiligen Schlag
- S-Mittel: Mittlerer S-Faktor im jeweiligen Schlag
- C-Mittel: Mittlerer C-Faktor im jeweiligen Schlag
- P-Mittel: Mittlerer P-Faktor im jeweiligen Schlag (= Pfac, berechnet mit Formel der TLL, vgl. S. 8)
- Pinf_Mittel: Mittlere Konturnutzungswert im jeweiligen Schlag (0 = keine Konturnutzung, 1 = Konturnutzung)
- Peff_Mittel: Mittlerer effektiver P-Faktor unter Berücksichtigung der Konturnutzung und des anhand des Relief berechneten potentiellen P-Faktors (= Peff, vgl. Formel S.8)
- Tv_Mittel: Mittlerer tolerierbarer Bodenabtrag in t/ha/a des jeweiligen Schlages
- Lambda_Mittel: Mittlerer Lamda-Wert im jeweiligen Schlag (Voraussetzung zur Berechnung des L-Faktors, dient lediglich der Kontrolle)



- M_Mittel: Mittlerer m-Wert im jeweiligen Schlag (Voraussetzung zur Berechnung des L-Faktors, dient lediglich der Kontrolle)
- HLK_Mittel: Mittlere kritisch Hanglänge bei der sich das Konturpflügen noch lohnt (vgl. Formel S.8)
- Information: (nicht abgebildet) Informationen zur Berechnungsart und den Daten, die bei Erstellung der Tabelle verwendet wurden

Falls die Checkbox „Zwischenschritte“ aktiviert worden ist, werden zusätzliche Raster mit ausgegeben. Im Gegensatz zur Funktion „Bruttoerosion“ kommen in diesem Falle allerdings zwei zusätzliche Grids hinzu:

- **Reserven:** Grid, welches die Differenz zwischen dem Bruttobodenabtrag und dem tolerablen Bodenabtrag zeigt (berechnet mit „Erosion (Zellen)“ – tolerabler Bodenabtrag)
- **P-Effektiv aus DEM:** Tatsächlich wirksamer P-Faktor, berechnet aus potentielltem P-Faktor und aktueller Bearbeitung (Konturpflügung oder nicht); entspricht Peff in der Formelsammlung auf S.8



5. Generelle Anmerkungen

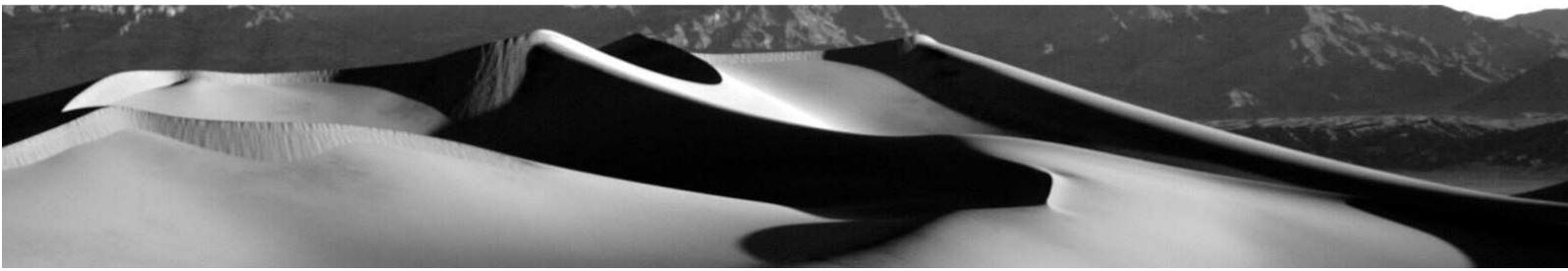
Anforderungen an das Datenmaterial

1. Alle Daten müssen Rasterdaten sein
2. Auswahlfenster Schläge:
Option „Bruttoerosion“ und „CPmax-Szenarien“: Integerraster mit den Feldern Value und Count (= Standard bei Integern); Option „Erosion kompakt“: zusätzlich noch Felder zum C-Faktor („C_faktor“), tolerierbaren Bodenabtrag („To_babtrag“) und zur Art der Konturnutzung („P_info“)
3. Auswahlbox Relief: Beliebige Raster (Integer oder Float, empfohlen Float), das hydrologisch korrekt ist (= vorherige Überprüfung mit DEM Korrektur notwendig)
4. Auswahlbox R-Faktor: Beliebige Raster (Integer oder Float) oder Zahleneingabe
5. Auswahlbox K-Faktor: Floattraster mit Werten zwischen 0 und 1 (kein Integerraster) oder Zahleneingabe
6. Auswahlbox C-Faktor: Floattraster mit Werten zwischen 0 und 1 (kein Integerraster) oder Zahleneingabe
7. Auswahlbox Toleranz: Beliebige Raster (Integer oder Float) oder Zahlenangabe

NoData Werte

Die Berechnung der Bodenerosion kann mit NoData-Werten entscheidend verfeinert werden. Je nach Raster werden dabei Zellen mit NoData-Werten auf zwei unterschiedliche Arten behandelt

1. NoData-Werte im digitalen Höhenmodell und dem Schlagraster:
Diese NoData-Werte haben eine hydrologische Relevanz und kennzeichnen Hindernisse oder Flächen, auf denen kein Transport von Wasser oder Bodenmaterial stattfindet. Sie wirken als unüberwindliche Barrieren bei der Berechnung des LS-Faktors, d.h. die Berechnung von Einzugsgebiet/Hanglänge stoppt und beginnt hangabwärts wieder von neuem bei einem Wert von 0.
2. NoData-Werte in den übrigen Rastern (R-Faktor, K-Faktor, C-Faktor, T-Wert):
NoData-Werte in diesen Rastern haben keine hydrologische Relevanz und kennzeichnen lediglich das Fehlen von Ausgangsdaten an diese Stellen. Die werden bei hydrologischen Berechnungen zur Ermittlung des LS-Faktors nicht als etwaige Grenzen berücksichtigt.



Einheitliche Begrenzungen und Rastergrößen

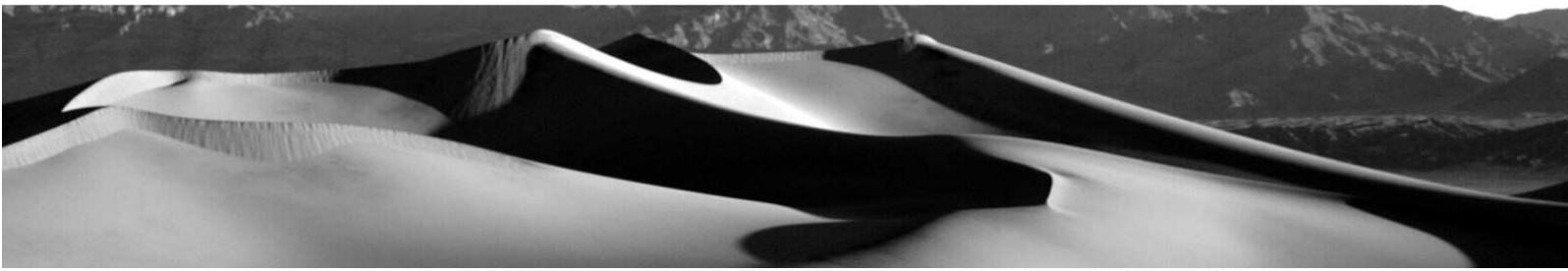
Alle Rasterdateien, die bei den Berechnungen verwendet werden, müssen unbedingt die gleichen Begrenzungen und Zellengrößen haben. Aus diesem Grund überprüft AV EROSION (d.h. das Analysefenster von AV EROSION) vor jeder Berechnung die Ränder (= Analysis Extent) und Zellengrößen (= CellSize). Falls ein Raster abweichende Eigenschaften besitzen sollte, stoppt die Berechnung. Zur Anpassung nicht deckungsgleicher Raster und zum Ausschneiden lokaler Raster dient die Funktion TLL Ausschneiden.

Aktualisierungen (Update-Events)

Bei jeder Berechnung werden neue Dateien ins gerade aktive Analysefenster eingefügt. Wenn AV EROSION nicht noch einmal neu gestartet wird bzw. die Analysefunktion gewechselt wird, können die neu hinzugekommenen Dateien nicht ausgewählt werden. In diesem Fall empfiehlt es sich, kurz zwischen zwei Funktionen hin und her zu schalten. Dadurch wird ein Update-Event ausgelöst und die neu hinzugekommenen Raster erscheinen nun in der Auswahlliste.

Welche Funktionen für welchen Zweck

Prinzipiell unterscheiden sich die 4 Funktionen von AV EROSION in einem Punkt voneinander. Die ersten drei („Bruttoerosion“, „Stoffbilanz“, „Cpmax-Szenarien“) sind eher allgemeine Funktionen, die lediglich einfache Rasterdateien und wenig Informationen benötigen. Sie lassen sich eigentlich immer ohne Probleme durchführen. Dagegen wurde die Funktion „Erosion kompakt“ in besonderem Maße für die speziellen Belange der TLL entwickelt, vor allem dann wenn schlagbezogene Angaben zum C-Faktor, Konturpflügen und tolerablen Bodenabtrag vorliegen. Korrektes Datenmaterial vorausgesetzt, kann hierbei sehr schnell die effektive Bruttoerosion nach der USLE bzw. MUSLE87 berechnet werden, und zwar immer unter Berücksichtigung der genauen Wirtschaftsweise.

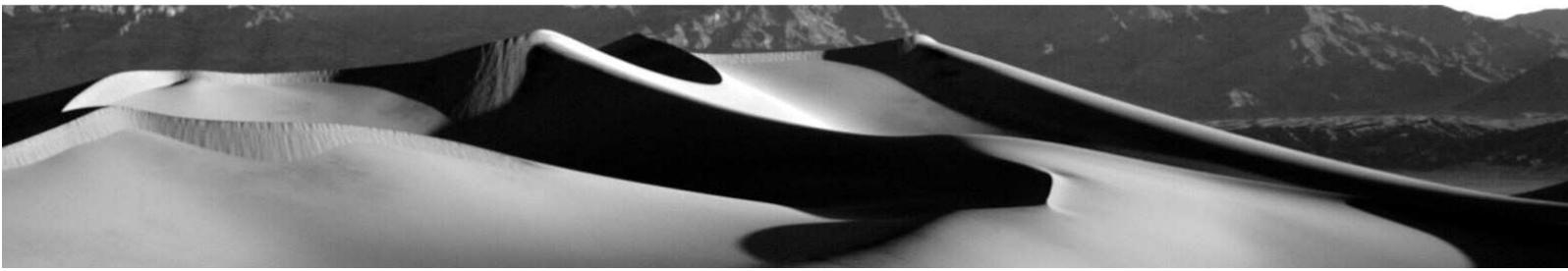


Zellengenaue Berechnungen ohne ein zusätzliches Schlagraster

AV EROSION ist so konzipiert worden, daß die Erosion zellengenau und für jeden einzelnen Ackerschlag berechnet wird und deswegen auch ein Schlagraster vorhanden sein sollte. Sind jedoch nur zellengenaue Auswertungen und keine Tabellen erwünscht (z.B. weil kein Schlagraster vorhanden ist), dann kann bei den Funktionen „Bruttoerosion“ und „Cpmax-Szenarien“ auf das Schlagraster verzichtet werden (Option <....> im Auswahlfenster Schläge). In diesem Fall wird dies automatisch von AV EROSION bemerkt und die nachfolgenden Berechnungen werden ausschließlich zellengenau durchgeführt. Empfehlenswert ist dies besonders bei größeren Flächen, wo die Berechnung der schlagspezifischen Erosion viel zusätzliche Rechenzeit kostet. Im Gegensatz dazu wird bei der Funktion „Erosion kompakt“ in jedem Fall ein Schlagraster benötigt.

Planung von Erosionsschutzmaßnahmen

Zu schneller Übersicht über empfehlenswerte Erosionsschutzmaßnahmen empfiehlt sich die Funktion CPmax-Szenarien, bei der anhand eines maximal tolerabler Bodenabtrags die entsprechenden CPmax-Werte berechnet werden. Bei bestehender Aktivierung des Auswahlkästchens „Zwischenschritte“ wird ein zusätzliches Raster P-Faktor ausgegeben, welches die Effektivität einer optionalen Konturpflügung zeigt. Mit beiden Rastern (CPmax und P-Faktor) können in nachfolgenden Schritten die Auswirkungen von Nutzungsänderungen abgeschätzt werden. Ist ein Konturpflügen angedacht, dann kann durch Multiplikation (CPmax-Raster * P-Faktor) der sich daraus ergebende C-Faktor errechnet werden. Sind die C-Werte dann immer noch zu hoch, ist ein alleiniges Konturpflügen wirkungslos (z.B. weil das Relief zu steil oder die Hanglängen zu groß sind). Hier wäre zu überlegen, ob sich durch weiter einschränkendere Maßnahmen der Bodenabtrag noch einmal reduzieren lässt. In diesem Fall könnten durch zusätzliche NoData-Pixel im Schlagraster (Grünstreifen, Hecken, etc.) die Auswirkungen von erosionshemmenden Hindernissen auf den Bodenabtrag simuliert werden. Ein interessantes Hintergrundraster bei der Erstellung ist das zellengenaue Raster „Erosion (Zellen)“. Es zeigt, an welchen Punkten sich durch das Hinzufügen von Hindernisse der Abtrag am wirkungsvollsten reduzieren lässt.



Berechnung der Stoffbilanz

Zur Berechnung der Stoffbilanz sind zwei Raster notwendig: ein digitales Höhenmodell und ein zuvor mit der Funktion Bruttoerosion erstelltes Erosionsraster. Die dabei verwendete Formel lautet $A = R * K * L * S * C$ und ist bei der Berechnung der Stoffbilanz etwas problematisch, da die Bruttoerosion unter Berücksichtigung des K-Faktors berechnet wird. Dies kann zu Problemen führen, wenn sich die Bodenerodibilität stark ändert, vor allem wenn sie sinkt (vgl. Schäuble 1999: Warum der K-Faktor bei Stoffbilanzierungen nicht unbedingt berücksichtigt werden sollte). Falls die Stoffbilanz daher ohne Berücksichtigung des K-Faktors berechnet werden soll (also mit $A = R * K * L * S$ als Erosionsraster), dann mit zuvor noch das Bruttoerosionsraster mit dem Kehrwert des K-Faktors multipliziert werden ($A_{\text{ohne K-Wert}} = A * 1/K$). Auf diese Weise können die methodischen Probleme vermieden werden, die eine Berücksichtigung des K-Faktors bei Stoffbilanzierungen mit sich bringt.

Copyright:

Dr. Holger Schäuble
TERRACS – Digitale Karten und Apps
Beim Herbstenhof 48
D-72076 Tübingen
Tel: +49-7071-1384226
Web: www.terracs.com
Mail: schaeuble@terracs.com