

BoBB - Bodenerosion, Beratung und Berechnung - Ein Werkzeug zur Unterstützung der landwirtschaftlichen Beratungspraxis

Alexander Eder^{1*}, Peter Strauss¹, Rosemarie Hösl¹ und Jan Devaty^{1,2}

Zusammenfassung

Die Ermittlung der Erosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Flächen ist eine notwendige Grundlage zur Bewertung von Alternativen im landwirtschaftlichen Management. Dazu ist die Bereitstellung von Werkzeugen, die eine Abschätzung der Auswirkung verschiedener landwirtschaftlicher Aktivitäten vor Ort ermöglichen, notwendig. Um der landwirtschaftlichen Beratung aber auch dem interessierten Landwirt diese Werkzeuge zur Verfügung stellen zu können, wurde BoBB – **B**odenerosion, **B**eratung und **B**erechnung geschaffen.

BoBB ist ein Computerprogramm, das nach Eingabe wesentlicher erosionsbestimmender und transportbestimmender Faktoren eine Bewertung des Erosionsrisikos und des Eintrages von Phosphor in ein Oberflächengewässer errechnet. Damit kann einerseits das potentielle Erosionsrisiko – also die naturräumlichen Gegebenheiten, die sich aus der Wechselwirkung von Boden, Niederschlag, Hanglänge und Hangneigung ergeben – berechnet werden. Andererseits besteht die Möglichkeit, unterschiedlichste Kombinationen aus Feldfrüchten, Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Besonderes Augenmerk wurde auf die Möglichkeit gelegt, Zwischenfruchtanbau zu berücksichtigen. Um die Berechnungen unter verschiedenen praxisnahen Szenarien zu vereinfachen, wurde BoBB mit einer benutzerfreundlichen Oberfläche ausgestattet. Das Programm kann kostenlos unter www.baw-ikt.at bezogen werden.

Schlagwörter: Erosion, RUSLE, Software, Landwirtschaftsberatung, Phosphoreintrag in Oberflächengewässer

Summary

The estimation of erosion risk is an important basis for the development of alternatives in the management of agriculturally used areas. Therefore, tools to locally estimate changes in erosion risk with respect to changes in agricultural management are necessary. To supply agricultural extension services but also interested farmers with such a tool, we developed BoBB – **B**odenerosion, **B**eratung und **B**erechnung.

BoBB is a piece of software which allows estimating risk of soil and phosphorus loss into surface water. It enables to calculate potential soil loss, which is a result of the different environmental base factors soil, climate, slope and slope length. Additionally, it offers the possibility to calculate the effects of various management options consisting of different crops, crop rotations, and tillage options. Special consideration has been taken to support catch crop management. To simplify these calculations, BoBB has been given a user friendly interface. The software may be downloaded free of charge via <http://www.baw-ikt.at>.

Keywords: Erosion, RUSLE, software, agricultural extension support, phosphorus transport to surface water

Einleitung

Eine direkte Messung des Erosionsgeschehens ist sehr kostenaufwändig und langwierig. Deshalb wurde bereits vor einigen Jahrzehnten mit der Entwicklung von Modellen begonnen, die geeignet sein sollen, das Ausmaß der Bodenerosion unter verschiedenen Umwelt- und Managementbedingungen zu ermitteln. In der Zwischenzeit gibt es eine Reihe von Erosionsmodellen, die sich im Wesentlichen in ihren Fähigkeiten, das Erosionsgeschehen räumlich und zeitlich aufzulösen, unterscheiden (AUERSWALD und SCHWERTMANN (1987), MORGAN (1999) oder AKSOY und KAVVAS (2005)).

In landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten besteht ein enger Zusammenhang zwischen Ausmaß der Erosionsgefährdung und dem Belastungsrisiko von Gewässern mit Phosphor, wobei die tatsächliche Belastung eines Gewässers anhand der Wechselwirkungen des Wirkungsgefüges rund um drei Fragenkomplexe zu beantworten ist: Wie groß ist der Bodenabtrag eines Schlages? Wie hoch ist der Phosphorgehalt des erodierten Bodens? Wie lang ist der Transportweg des erodierten Bodens bis zum Gewässer?

Auch zur Verknüpfung dieser Fragen hin zu einer quantitativen Bewertung eines Belastungsrisikos von Gewässern durch bodenbürtigen Phosphor gibt es eine Reihe von Mo-

¹ Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 PETZENKIRCHEN

² Technical University Prag, Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering, Thákurova 7, 166 29, PRAHA 6

* Ansprechpartner: DI Alexander Eder, alexander.eder@baw.at



dellvorstellungen. Die Komplexität der in diesen Modellen enthaltenen Prozesse schwankt sehr stark und ist im Wesentlichen vom Grad der räumlichen und zeitlichen Auflösung abhängig, mit dem die verschiedenen Modelle arbeiten.

Eine der vielen Herausforderungen, die es in der Modellierung von Bodenerosion und Stoffbelastung von Oberflächengewässern noch anzunehmen gilt, ist die Bereitstellung von Werkzeugen, die eine Abschätzung der Auswirkung verschiedener landwirtschaftlicher Aktivitäten vor Ort ermöglichen. Um hier der landwirtschaftlichen Beratung aber auch dem interessierten Landwirt Möglichkeiten zu eröffnen, wurde BoBB – **B**odenerosion, **B**eratung und **B**erechnung geschaffen.

Modelltheorie

BoBB liefert im Wesentlichen zwei Ergebnisse, die Ermittlung des Bodenabtrags und die Berechnung des Phosphoreintrags in das nächstgelegene Oberflächengewässer. Die Anforderung eines einfach zu handhabenden Modellwerkzeugs mit verfügbaren Datensätzen im Hintergrund hatte natürlich Auswirkungen auf die Wahl der verwendeten Modellansätze.

Bodenabtrag

Die Berechnung des Bodenabtrags in BoBB basiert auf einer leicht veränderten Version der sogenannten „Revised Universal Soil Loss Equation“ (RUSLE), von RENARD et al. (1997).

Die RUSLE liefert als Berechnungsergebnis den langjährigen durchschnittlichen Bodenabtrag eines bestimmten Schlags. Dies deshalb, weil als Eingangsgrößen der Berechnungen „typische“ oder „durchschnittliche“ Werte für bestimmte Faktoren verwendet werden. Im Falle der Niederschlagseigenschaften sind das z.B. langjährige mittlere Niederschläge und Niederschlagsverteilungen. Durch Multiplikation verschiedener Eingangsfaktoren erhält man einen jährlichen durchschnittlichen Bodenabtrag (Formel 1). Aufgrund der Einfachheit dieser empirischen Formel ist es nicht möglich Transport oder Ablagerung innerhalb der betrachteten Fläche zu ermitteln.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C$$

Formel 1: Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

A – durchschnittlicher jährlicher Bodenabtrag in ($t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$)

R – Niederschlagsfaktor in ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1}$)

K – Bodenfaktor in ($t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)

L – Hanglängenfaktor, dimensionslos

S – Hangneigungsfaktor, dimensionslos

C – Managementfaktor, dimensionslos

Die Berechnungsschritte der RUSLE sind gewöhnlich 15 Tage-Intervalle. Für BoBB wurde jedoch eine Transfor-

mation der Parameter auf Tagesschritte vorgenommen, um landwirtschaftliche Bearbeitungsschritte an jedem Tag des Jahres eingeben zu können. Des Weiteren mussten die nordamerikanischen Einheiten in das metrisch dezimale SI-Einheitensystem umgerechnet werden.

Im Folgenden wird grundlegende Information über die einzelnen Faktoren der RUSLE dargestellt, für eine detaillierte Darstellung wird auf das USDA – Handbuch 703 (RENARD et al. 1997) verwiesen.

R-Faktor - Klima

Als Basisinformation zur Berechnung des Faktors Klima wird einerseits der jährliche R-Faktor eines Standortes benötigt, andererseits eine jahreszeitliche Verteilung der R-Faktor Anteile. Um bestimmte Algorithmen zur Berechnung des C-Faktors abzudecken, werden zusätzlich noch langjährige mittlere tägliche Niederschlagssummen, bzw. mittlere Tagestemperaturen benötigt. Diese Datensätze sind für ausgewählte Stationen vorhanden und werden von der im Programm enthaltenen Datenbank zur Verfügung gestellt. Diese Datenbank kann natürlich jederzeit erweitert werden. Zur Ermittlung dieser Daten war eine Reihe von Umsetzungsschritten und Algorithmen notwendig. Diese können dem Benutzerhandbuch für BoBB (STRAUSS et al. 2012) entnommen werden.

K-Faktor - Boden

Zur Berechnung der Erosionsempfindlichkeit des Bodens wurden im Originalmodell USLE (WISCHMEIER and SMITH 1978) Regensimulationen und Abtragsmessungen mit natürlichen Niederschlägen durchgeführt. Aus diesen Messungen wurde letztendlich ein Berechnungsmodus entwickelt, der die Bodenerodibilität als Funktion der Bodeneigenschaften Feinstsand, Schluff, organischer Kohlenstoff, Bodenstruktur und Bodenpermeabilität darstellt. Da diese Bodeneigenschaften aber in den seltensten Fällen vollständig vorhanden sind, wurden schon frühzeitig Wege gesucht, um diese Berechnung zu vereinfachen. BoBB bietet drei dieser Möglichkeiten zur Eingabe des K-Faktors an.

Finanzbodenschätzung

Der Benutzer wählt eine aus der Auswertung der Finanzbodenschätzung vorhandenen Bodentexturklassen (WAGNER 2001). Die Beziehung zwischen den Texturklassen der Finanzbodenschätzung und den K-Faktoren wurde unter anderem von VOGEL und BECHER (1985) hergestellt.

Österreichische Bodenkartierung

Ähnlich wie bei der Finanzbodenschätzung können Bodenarten auch aus der Österreichischen Bodenkartierung (SCHNEIDER et al. 2001) ausgewählt werden. Da die Texturdreiecke von Finanzbodenschätzung und österreichische Bodenkartierung unterschiedlich sind, ist auf die richtige Auswahl der Eingabemöglichkeit Acht zu geben.

Tabelle 1: Bodenklassen und dazugehörige K-Werte aus der Finanzbodenschätzung.

Bodenart	T	sT	S	tS	IT	uT	sL	IS	stL	suL	utL	ulS	uS	uL	tU	suL	U
K-Faktor	0,09	0,1	0,1	0,11	0,13	0,18	0,23	0,26	0,28	0,35	0,37	0,39	0,43	0,49	0,62	0,65	0,72

Manuelle Eingabe des K-Faktor

Ist aus verschiedenen Gründen eine bessere Schätzung des K-Faktors möglich, kann dieser auch direkt eingegeben werden.

S-Faktor - Hangneigung

Für die Berechnung des S-Faktors fanden die in RENARD et al. (1997) verwendeten Ansätze Verwendung.

$S_i = 10,8 \cdot \sin\theta_i + 0,03$ Neigung eines Hangsegmentes $< 9\%$

$S_i = 16,8 \cdot \sin\theta_i + 0,5$ Neigung eines Hangsegmentes $\geq 9\%$

$S_i = 3,0 \cdot (\sin\theta_i)^{0,8} + 0,56$ Hanglänge eines Hangsegments $< 4,57\text{m}$

Formel 2: S-Faktor einzelner Hangsegmente

S_i – Faktor S eines Hangsegmentes i

θ_i – Neigung eines Hangsegmentes i in Grad

In BoBB können mehrere Hangsegmente mit unterschiedlicher Neigung und Hanglänge aneinander gereiht werden.

L-Faktor - Hanglänge

Der L-Faktor für ein Hangsegment wird mittels folgender Formel berechnet:

$$L_i = \frac{(x_i^{m_i+1} - x_{i-1}^{m_i+1})}{(x_i - x_{i-1}) \cdot 22,13}$$

Formel 3: L-Faktor einzelner Hangsegmente

L_i – L-Faktor des i-ten Hangsegments

x_i – Distanz vom Beginn des Hanges bis zum Ende des i-ten Hangsegment [m]

x_{i-1} – Distanz vom Beginn des Hanges bis zum Beginn des i-ten Hangsegments [m]

m_i – empirisch ermittelter Exponent, abhängig von der Hangneigung (McCool et al. 1989)

Um den L-Faktor des gesamten Hangprofils zu erhalten, wird ein durchschnittlicher L-Faktor aller Hangsegmente gewichtet durch die Hanglänge ermittelt.

C-Faktor - Management

Der C-Faktor von BoBB beinhaltet sämtliche Effekte, die im Rahmen der Bodenbearbeitung und des Pflanzenwachstums auftreten. Er wird gemäß RUSLE wie folgt berechnet:

$$C = \frac{1}{\sum_{d=1}^l EI_d} \cdot \sum_{d=1}^l SLR_d \cdot EI_d$$

Formel 4: C-Faktor

EI_d – Erosivität des Niederschlags, Summe am Tag d

SLR_d – Anteil Bodenabtrag am Tag d

l – gesamte Dauer der Fruchtfolge in Tagen

Der Bodenabtrag eines bestimmten Tages (soil loss ratio = SLR) wird durch Multiplikation von Subfaktoren die den Einfluss verschiedener relevanter Managementeffekte wiedergeben, erhalten. Alle Subfaktoren haben einen Wertebereich von 0 (absoluter Schutzeffekt gegeben) bis 1 (kein Schutzeffekt gegeben).

$$SLR_d = PLU_d \cdot CC_d \cdot SC_d \cdot SR_d$$

Formel 5: Subfaktoren zur Bestimmung von SLR

PLU_d – Subfaktor frühere Landnutzung am Tag d

CC_d – Subfaktor Bodenbedeckung durch Pflanzenbewuchs am Tag d

SC_d – Subfaktor Bodenbedeckung an der Bodenoberfläche am Tag d

SR_d – Subfaktor Oberflächenrauigkeit am Tag d

Im Gegensatz zum Original RUSLE Modell wurde auf den Subfaktor Bodenfeuchte verzichtet, weil die derzeit zur Verfügung stehenden Daten des Handbuchs keine zielführende Bewertung dieses Faktors möglich machen.

Phosphoreintrag

Die Berechnung des Eintrags von Phosphor in ein Gewässer wird in BoBB über folgende Berechnungen realisiert:

$$PI_m = A \cdot (1 - Ret) \cdot P \cdot ER \cdot 10^{-6}$$

Formel 6: P-Eintrag in Gewässer

PI_m – Eintrag Phosphor in Gewässer in $\text{kg P} \cdot \text{a}^{-1}$

A – Bodenabtrag des betrachteten Schlages in $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$

Ret – Rückhalt des Bodenabtrags auf dem Weg zum Gewässer, abhängig vom Bodenabtrag A, Filterlänge und Austrittsbreite, dimensionslos zwischen 0 – 1

P – Gesamtphosphorgehalt des Bodens auf dem betrachteten Schlag in $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Boden

ER – Anreicherung des transportierten Sediments mit Phosphor, abhängig vom Bodenabtrag A, dimensionslos

Die Gleichungen zur Retention des Bodens stellen Verallgemeinerungen von Ergebnissen des Projektes „Effektivität von Gewässerrandstreifen“ dar (Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt und WPA, 2010) dar. Dabei waren mit Hilfe des Simulationsmodells VFSMOD (MUNOZ-CARPENA et al. 1999) die Effektivität von Gewässerrandstreifen unter verschiedensten Eingangsbedingungen simuliert worden.

Benutzeroberfläche

Im Hauptmenü von BoBB (Abbildung 1) können einzelne Dateien verwaltet (speichern, öffnen, schließen), Ergebnisse exportiert und Programminformationen abgerufen werden.

Verschiedene Berechnungsvarianten können in der Projektidentifikation (Name des Landwirts, Schlagbezeichnung) angelegt werden. Über die Balken „Klima“, „Boden“, „Hangneigung“ und „Management“ gelangt man in die jeweiligen Untermenüs in denen die für eine Berechnung notwendigen Eingangsdaten ausgewählt werden können. Nach korrekter Eingabe der jeweiligen Untermenüs (rote Kreise werden durch grünes Häkchen ersetzt) erfolgt mittels Balken „Bodenerosion“ die tatsächliche Berechnung. Eine optionale Eingabe ist die „Bearbeitung des Phosphor Eintrages“. Darunter befindet sich der Balken „Ergebnistabelle exportieren“ um die Ergebnisse in Tabellenform zu erhalten. Rechts daneben befindet sich eine Info-Box mit hilfreichen Texten, die durch das ganze Programm begleiten. Im rechten



Abbildung 1: Hauptmenü von Bobb nach erfolgreicher Berechnung.



Abbildung 2: Dialog zur Bearbeitung der einzelnen Hangprofilsegmente.

unteren Teil des Hauptmenüs werden die wesentlichsten Ergebnisse nach drücken des Balkens „Bodenerosion“ angezeigt. In der Fußzeile werden der Status des Rechenvorganges bzw. etwaig auftretende Fehlermeldungen angezeigt.

Faktor Klima

Im Balken Klima kann die gewünschte Region oder der nächstgelegene Ort ausgewählt werden in dem sich der betroffene Schlag befindet.

Faktor Boden

Im Balken Boden können auf drei unterschiedliche Arten Bodenkennwerte eingegeben werden.

Hangneigung und Hanglänge

Die Teilung eines Schlages in charakteristische Einheiten und die Bestimmung der sogenannten „Erosiven Hanglänge“ ist die schwierigste Aufgabe bei der Ermittlung des durchschnittlichen Bodenabtrages eines Schlages.

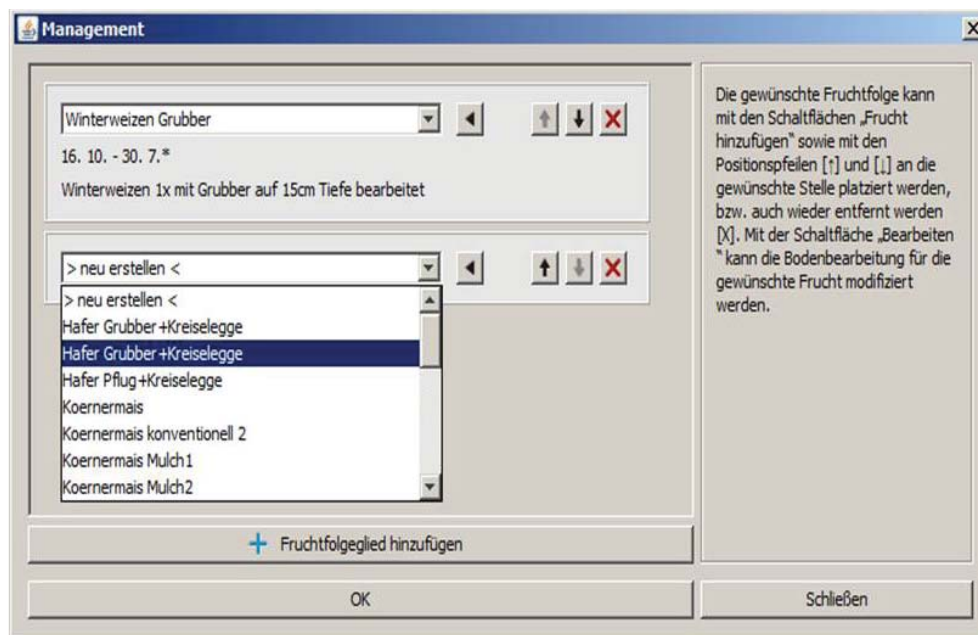


Abbildung 3: Fruchtfolge eingeben im Management.

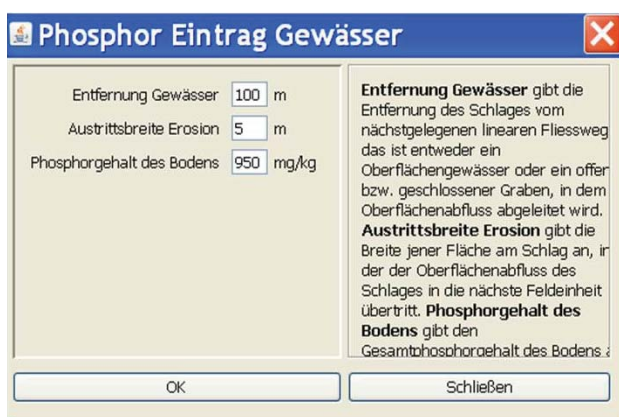


Abbildung 4: Untermenü Phosphor Eintrag Gewässer mit den notwendigen Eingaben und Hilfetext.

Ein charakteristisches Hangprofil ist eine künstlich gedachte Linie, die typisch für einen Schlag ist, auf der flächenhafter Abfluss stattfindet. Normalerweise beginnt ein Hangprofil am Feldrand oder an einer Feldkuppe. Das Hangprofil endet entweder am Feldrand, innerhalb eines Schlags dort wo üblicherweise Sedimentation von erodiertem Bodenmaterial auftritt, oder dann wenn ein konzentrierter Oberflächenabfluss erwartet werden kann, also ein Talweg oder eine andere Konzentration von Oberflächenabfluss (Straßengraben...) auftritt.

Für jedes Hangprofil können dabei Hangprofilsegmente mit unterschiedlicher Länge und Hangneigung eingegeben werden (Abbildung 2).

Management

Hinter der Leiste „Management“ können die Eingaben zur Wahl von Feldfrüchten, Fruchtfolgen und Managementmaßnahmen vorgenommen werden. Um den Bodenabtrag über einen längeren Zeitraum zu berechnen, kann eine

beliebig lange Fruchtfolge mit allen begleitenden Bearbeitungsmaßnahmen eingegeben werden. Als Beispiel ist in *Abbildung 3* die Feldfrucht „Winterweizen Grubber“ dargestellt.

Phosphor Eintrag Gewässer

Mit Hilfe dieses Submenüs kann der Eintrag von Gesamtphosphor in das zum jeweilig betrachteten Schlag nächstgelegene Gewässer abgeschätzt werden. Diese Eingabe ist optional und kann im Anschluss an die Berechnung des Bodenabtrages durchgeführt werden.

Der genaue Gesamtphosphorgehalt des Bodens ist nur in seltenen Fällen bekannt. Als konservativer Richtwert kann ein Wert von 1000 mg.kg⁻¹ Boden angenommen werden.

Literatur

- AKSOY, H. and M.L. KAVVAS, 2005: A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, 64, 2-3, 247-271.
- AUERSWALD, K. und U. SCHWERTMANN, 1988: Modelle zur Erosionsvorhersage als Entscheidungsgrundlage des Bodenschutzes. In: Rosenkranz, D.; Bachmann, G.; König, W.; Einsele, G.; Giese, E. (Hrsg.): *Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser*. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co/Rademann, Berlin, ISSN 0935-2171, 4085, 1-20.
- McCOOL, D.K., G.R. FOSTER, C.K. MUTCHLER and L.D. MEYER, 1989: Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE*, 32, 1571-1576.
- MENZEL, R.G., 1980: CREAMS: A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. *Conservation Research Report No. 26*, 486-492.
- MORGAN, R.P.C., 1999: *Bodenerosion und Bodenerhaltung*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, ISBN 3-13-118321-7.
- MUNOZ-CARPENA, R., J.E. PARSONS and J.W. GILLIAN, 1999: Modelling hydrology and sediment transport in vegetative filter strips/ *Journal of Hydrology* 214, p. 111-129.

- RENARD, K.G., G.R. FOSTER, G.A. WEESIES, D.K. McCOOL, D.C. YODER, et al., 1997: Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 404 pages. ISBN 0-16-048938-5.
- SCHNEIDER, W., P. NELHIEBL, G. AUST, M. WANDL und O.H. DANNEBERG, 2001: Die landwirtschaftliche Bodenkartierung in Österreich. Mitt. Österr. Bodenk. Ges., 62, 39-68.
- SCHWERTMANN, U., W. VOGL und M. KAINZ, 1987: Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Ulmer Verlag, Stuttgart, ISBN 3-8001-3081-5.
- STRAUSS, P. and G. WOLKERSTORFER, 2005: Key factors of soil erosion. Deliverable 2.2 – daNUbs project (EVK1-CT-2000-00051).
- STRAUSS, P., J. DEVATY und R. HÖSL, 2012: BoBB - Bodenerosion, Beratung, Berechnung - Ein Werkzeug zur Unterstützung der Beratungspraxis zum Schutz vor Bodenerosion durch Wasser. Benutzerhandbuch. Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen.
- VOGEL und BECHER, 1985: Schätzung der Erodibilität des Bodens (K-Faktor) aus der Körnungsansprache nach der Reichsbodenschätzung. Z.f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 26, 179-183.
- WAGNER, J., 2001: Bodenschätzung in Österreich. Mitt. Österr. Bodenk. Ges., 62, 69-103.
- WISCHMEIER, W.H. and D.D. SMITH, 1978: Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 58 pages. 001-000-03903-2.