

**Zeitschrift:** Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie  
**Herausgeber:** Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel  
**Band:** 51 (2010)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Einbezug der Abfolge von Niederschlag und Austrocknung in die Bestimmung der Bodenerodibilität  
**Autor:** Kuhn, Nikolaus J. / Fister, Wolfgang  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1088041>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Einbezug der Abfolge von Niederschlag und Austrocknung in die Bestimmung der Bodenerodibilität

Nikolaus J. Kuhn & Wolfgang Fister

## *Zusammenfassung*

*Ein Hauptlimitierungsfaktor bei der Vorhersage ereignisbasierter Bodenerosionsraten ist die fehlende Einbeziehung kurzzeitiger Interaktionen zwischen Boden und Klima. Aufgrund des komplexen Zusammenwirkens und der hohen zeitlichen Variabilität von Niederschlag, Oberflächenabfluss und Austrocknung – in Abhängigkeit von den vorhandenen Bodeneigenschaften – erscheint die Entwicklung von physikalisch-basierten Bodenerosionsmodellen sehr unwahrscheinlich. In dieser Untersuchung wurden die Auswirkungen der Interaktion zwischen Boden und Klima auf die flächenhaft wirkende Erosion im Zwischenrillenbereich (sog. Interrill-Erosion) anhand von zwei Böden aus Mexiko untersucht und eine prozessbasierte Matrix für die Bestimmung von kurzzeitigen Schwankungen der Bodenerodibilität entwickelt. Die Matrix ermöglicht eine qualitative Abschätzung der Variabilität der Bodenerodibilität in einem gegebenen Boden-Klima Regime. Sie kann dazu verwendet werden, geeignete Erosionsereignisse für die Kalibrierung von Erosionsmodellen auszuwählen und die Unsicherheiten bei der Vorhersage von Ereignissen zu bestimmen.*

## 1 Einleitung

Die prozessbasierte Erosionsmodellierung ist für die Vorhersage der Auswirkungen von Umweltveränderungen ohne die Nutzung von Langzeitbeobachtungen, die Simulation von Extremereignissen und die Erfassung von off-site-Effekten kleinerer Ereignisse auf die Wasserqualität und die Sedimentation von Bodenmaterial notwendig (Valentin 1998; Moore et al. 2001). Die Vorhersagen aktueller Modelle sind jedoch sehr deutlichen Schwankungen unterlegen (Jetten et al. 1999). Die eingeschränkte Aussagekraft der Modelle ist weitestgehend auf die fehlende Einbeziehung kurzzeitiger (Minuten bis Tage) Wechselbeziehungen zwischen dem Klima und der Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen Erosion (Erodibilität) zurückzuführen (Bryan 2000). Der Begriff der

---

Adresse der Autoren: Prof. Dr. Nikolaus J. Kuhn & Dipl.-Geogr. Wolfgang Fister, Universität Basel, Departement Umweltwissenschaften, Geographisches Institut, Physiogeographie und Umweltwandel, Klingelbergstrasse 27, CH-4056 Basel; E-Mail: nikolaus.kuhn@unibas.ch, wolfgang.fister@unibas.ch

Erodibilität ist somit ein Sammelparameter, der integrierend die Wirkung der Bodenrauigkeit, -feuchte, -art und -struktur auf die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen die Ablösung und den Transport von Bodenmaterial beschreibt. In der Wachstumsperiode der Ackerfrüchte schwankt die Erodibilität von Ackerböden sowohl innerhalb als auch in der Zeit zwischen Starkregenereignissen. Sie spiegelt damit die Auswirkungen der Befeuchtung, Verschlammung, Verdichtung, Erosion und Austrocknung auf die Bodenstruktur und Oberflächenmorphologie wider (*Hairsine & Hook* 1995). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Entwicklung eines detaillierten, prozessbasierten Modells für die Vorhersage der kurzzeitigen Dynamik der Bodenerodibilität aufgrund der komplexen Interaktion zwischen Boden, Niederschlag und Erosion sehr unwahrscheinlich ist. Deshalb erscheint die vorsichtige Kalibrierung von Modellen die beste Möglichkeit für eine effektive Erosionsmodellierung zu bleiben (*Kuhn & Bryan* 2003). Als Unterstützung bei der Kalibrierung von Modellen und als Hilfestellung für weitere Forschungen zu kurzzeitigen Boden-Klima Interaktionen wurde deshalb ein matrixbasierter Ansatz auf Basis von Bodeneigenschaften und Niederschlags-Austrocknungsregimen entwickelt.

## 2 Material und Methoden

Im 'Soil Erosion Laboratory' der Universität von Toronto wurden Laboruntersuchungen mit unterschiedlichen Abfolgen von Starkregenereignissen mit Bodenproben von Smektit-reichen Kastanozemen und Vertisolen aus dem Piedmont der Sierra Madre Oriental in Nuevo Leon (NO-Mexiko) durchgeführt (Smektite: Gruppe der stark aufweitbaren Dreischicht-Tonminerale). Die Bodenproben wurden in der Umgebung von Linares gesammelt und sind typisch für die Region östlich der Sierra Madre Oriental. Sie unterscheiden sich in ihrer Textur, dem Gehalt an organischer Substanz, der Aggregatstabilität und der Landnutzung (Tab. 1). Der Vertisol hat eine gröbere Kornzusammensetzung, einen höheren Gehalt an organischer Substanz und wird extensiv beweidet. Der Kastanozem wird für intensiven Ackerfruchtanbau genutzt. Beide Böden haben gemein, dass sie sehr empfindlich gegenüber Bodenversiegelung sind, eine deutliche Tendenz zur Aggregatbildung und eine hohe Quellungs- und Schrumpfungskapazität aufweisen. Die Versuche beinhalteten Regensimulationen auf 5° geneigten Gerinnen (1 m lang x 0,2 m breit) mit einer 0,1 m mächtigen Schicht Boden. Der Boden wurde mit einer Dichte von 1,2 g cm<sup>-3</sup> eingebaut. Die Bodenplatte des Gerinnes war mit Löchern versehen und mit einem feinen Tuch abgedeckt, um die Drainage des Bodens zu ermöglichen. Die Beregnungen wurden mit einer Intensität von 60 mm h<sup>-1</sup> und einer absoluten Regenmenge von jeweils 180 mm durchgeführt. Im ersten Test wurden beide Böden einem dreistündigen Dauerregen ausgesetzt und im zweiten Versuch wurde dieser Regen jeweils nach 60 und 120 Minuten unterbrochen, um den Boden luftzutrocknen. Bei jedem Versuch wurden der Anfangs- und Endwassergehalt, der Scherwiderstand und die Aggregatstabilität bestimmt, um die Auswirkung des Niederschlags, der Erosion und der zwischenzeitlichen Austrocknung des Bodens auf die Bodeneigenschaften zu bestimmen. Für eine genaue Beschreibung der Beregnungsanlage und der Testabläufe wird auf *Kuhn et al.* (2003) verwiesen.

Tab. 1 Bodeneigenschaften der verwendeten Böden für die Untersuchung der Interrill-Erodibilität.

Boden	FAO Bodentyp	Nutzung	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Corg [%]	WSA > 0.25 mm * [%]
Kastanozem	Calcic Kastanozem	Ackerland	6.1	49.9	44	1.5	90.8
Vertisol	Calcic Vertisol	Grasland	11.6	60.1	28.3	3	81

\* Anteil stabiler Aggregate > 0.25 mm

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Innerhalb von 60 Minuten entstand auf dem Kastanozem eine zweilagige, versiegelte Schicht, bestehend aus einer ausgewaschenen Schicht mit locker gelagerten Aggregaten auf der Bodenoberfläche und einer kohäsiven Schicht, in die Material eingespült worden ist (Kuhn et al. 2003). In der Zeit zwischen 100 bis 180 Minuten des dreistündigen Niederschlags wurden die locker gelagerten Aggregate vollständig von der Oberfläche entfernt und liessen die kohäsive Schicht aus eingespültem Material zurück. Die Entfernung der Aggregate führte zu einer deutlichen Zunahme der Fliessgeschwindigkeit von 0,8 auf 1,2 cm s<sup>-1</sup> und zur Erhöhung der Grenzschubspannung von 40 auf 150 Pa. Unter Verwendung der Formel von Zhang et al. (1998) verringerte sich die Interrill-Erodibilität im gleichen Zeitraum dadurch um etwa 50 %. Dies deutet darauf hin, dass die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen die Erosion von der Zunahme der Grenzschubspannung bestimmt wurde und nicht von der Verringerung der Bodenrauigkeit, welche den Anstieg der Fliessgeschwindigkeit bedingt hätte (Kuhn et al. 2003).

Die Unterbrechung des Niederschlags zur Trocknung des Bodens erzeugte einen vollständig anderen Verlauf der Erodibilität gegen Ende des zweiten und während des dritten Starkregenereignisses (Abb. 1). Die maximale Erodibilität wurde nach der Trocknung erst bei höheren Niederschlagsmengen erreicht. Bevor es zur Verlagerung von Aggregaten durch Splash kam, trat zwischen dem zweiten und dritten Ereignis Pfützenbildung auf. Zu Beginn erzeugte die Aggregatverlagerung eine grössere Oberflächenrauigkeit, wodurch die Fliessgeschwindigkeit und damit einhergehend die Erosion reduziert wurde. Im späteren Verlauf des Versuchs, nach Ausbildung der kohäsiven Schicht aus eingespültem Material und von permanent durchflossenen Fliesswegen, nahm die Erodibilität des Bodens durch die Verlagerung der Aggregate im Verhältnis zum dreistündigen Ereignis deutlich zu. Gegen Ende des dritten Ereignisses waren die Aggregate an der Bodenoberfläche fast vollständig entfernt, wodurch sich die Erodibilität deutlich reduzierte. Der Gesamtbodenabtrag des Versuchs mit der Abfolge von drei Starkregenereignissen war um etwa 25 % höher als bei dem dreistündigen Dauerniederschlag gleicher Intensität (188 g vs. 144 g). Dies deutet darauf hin, dass sich durch die unterschiedliche Niederschlagsabfolge nicht nur der zeitliche Verlauf der Erodibilität geändert hat, sondern dass es auch zu einem Anstieg der Erodibilität gekommen ist.

Die Ausbildung der Schicht aus locker aufliegenden Aggregaten benötigte beim Vertisol mit 120 mm Niederschlag etwas länger als beim Kastanozem. Nach 180 mm Niederschlag bedeckte eine fast kontinuierliche Schicht aus Aggregaten die Oberfläche, was auf eine verringerte Ablösungs- und Transportrate hindeutet. Der Grund für die unterschiedliche Entwicklung der Oberflächenversiegelung liegt in der Aggregatstabilität der Böden. Nach 180 Minuten Niederschlag weist der Vertisol etwa 68 % wasserstabile Aggregate > 0.25 mm und der Kastanozem lediglich 49 % auf. Die Unterschiede der Verläufe der Bodenerodibilität zwischen dem Dauerniederschlag und

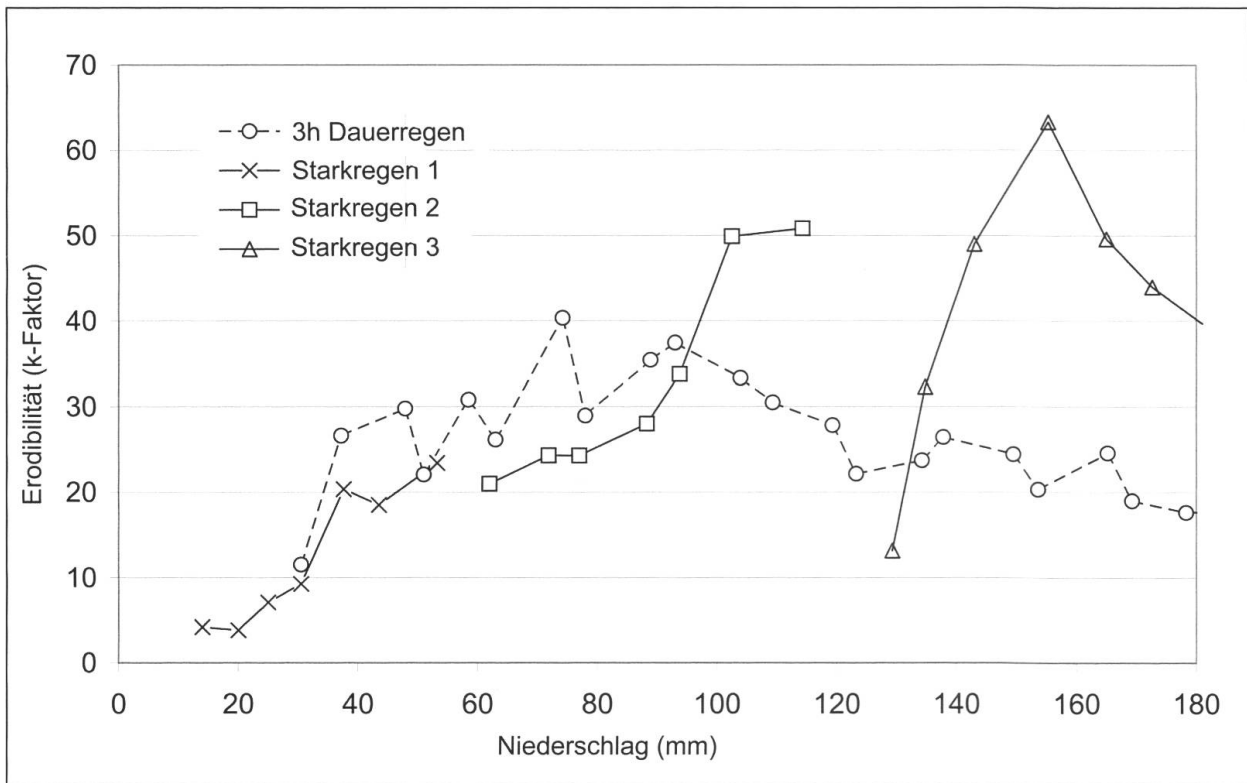


Abb. 1 Interrill-Erodibilität des Kastanozems während des dreistündigen Starkregens und der drei einstündigen Ereignisse.

den drei Starkniederschlagsereignissen ist beim Vertisol aufgrund der langsameren Ausbildung und Verlagerung der Schicht aus locker aufliegenden Aggregaten weniger ausgeprägt (Abb. 2). Betrachtet man jedoch diesen Prozess über eine ganze Regensaison in NO-Mexiko mit Niederschlagssummen von 390 bis 1'850 mm hinweg, so ist es sehr wahrscheinlich, dass durch die immer wiederkehrende Loslösung und den Abtransport der Aggregate von der Bodenoberfläche des Vertisols die Erodibilität in ähnlicher Weise beeinflusst wird wie bei dem Kastanozem.

### Matrixbasierter Ansatz zur Bestimmung des Potenzials kurzzeitiger Änderungen der Erodibilität von Böden

Die Beobachtung der komplexen Zusammenhänge, die den Erosionsprozess kontrollieren, zeigt deutlich, dass die Frequenz, die Menge und Intensität vorhergehender Niederschlagsereignisse und Trocknungszyklen die Erodibilität des Vertisols und des Kastanozems stark beeinflussen. Ähnlich komplexe, wenn nicht sogar noch komplexere Zusammenhänge zwischen Boden, Klima und Abfluss bestimmen die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen die Rillenerosion (Kuhn 2001). Es ist deshalb notwendig, die Rolle der vorhergehenden Niederschlags- und Trocknungsverläufe zu berücksichtigen, wenn Erosionsraten für individuelle Ereignisse vorhergesagt werden. Entsprechend detaillierte Informationen über die inter- und intra-Sturm Variabilität der Bodeneigenschaften im komplexen Wechselspiel mit der Witterung sind nur sehr selten verfügbar. Die Sensitivität und das Potenzial zur Veränderung der Erodibilität eines Bodens nach der Bearbeitung kann jedoch mit Hilfe einer Matrix, die sowohl die Eigenschaften wie auch die Prozesse berücksichtigt, abgeschätzt werden. Die dargestellten Ergebnisse und andere Studien, die sich mit den Zusammenhängen zwischen den Bodeneigenschaften und der Interrill-Erodibilität beschäftigen (z. B. Moore & Singer 1992; Le Bissonnais 1996) haben gezeigt, dass gut aggregierte Böden,

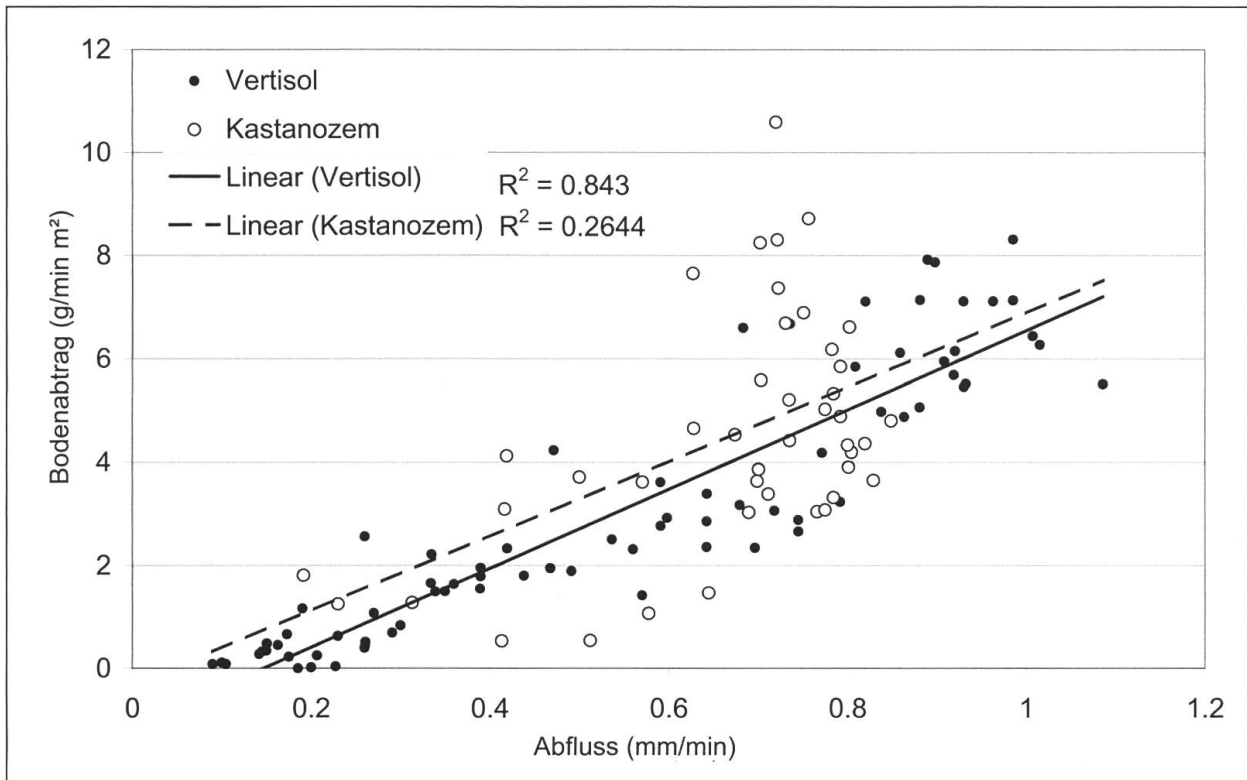


Abb. 2 Das Verhältnis des Oberflächenabflusses und des Bodenabtrags zeigt die geringere Variabilität der Erodibilität des Vertisols im Gegensatz zum Kastanozem.

welche zu Verschlammung und Versiegelung neigen und eine hohe Schrumpfungs-Quellungs-kapazität aufweisen, besonders empfindlich für kurzzeitige Änderungen der Bodenerodibilität sind. Der untersuchte Kastanozem fällt beispielsweise in diese Kategorie. Böden mit keinen oder sehr stabilen Aggregaten, wie zum Beispiel der Vertisol, sind weniger anfällig für kurzzeitige Veränderungen der Bodenerodibilität aufgrund von Niederschlag oder Austrocknung (z. B. Zhang & Miller 1993; Luk et al. 1993; Kuhn & Bryan 2003). Diese Böden können als unempfindlich oder gering empfindlich bezeichnet werden. In der Matrix werden Niederschlags- und Austrocknungs-regime nach ihrer Auswirkung auf die Erodibilität eines Bodens mit einer gegebenen Empfindlichkeit kategorisiert. Beispielsweise ist es eher unwahrscheinlich, dass sich die Erodibilität eines Bodens deutlich ändert, wenn die Niederschlagsmenge, -magnitude und -frequenz von Starkregenereignissen innerhalb und zwischen den Jahren ähnlich sind. In NO-Mexiko weist der Niederschlag während der Sommerregenzeit jedoch grosse Schwankungen auf, weshalb das Regenregime ein grosses Potenzial für kurzzeitige Veränderungen der Bodenerodibilität aufweist. Von Jahr zu Jahr verändert sich der zeitliche Verlauf der Erodierbarkeit deshalb sehr deutlich (Navar J., unpublizierte Daten [FCF Linares, Universidad Autonoma de Nuevo Leon]). Basierend auf der experimentellen Untersuchung der Bodeneigenschaften und des Niederschlagsverhaltens kann eine Matrix entwickelt werden, welche die kurzzeitigen Veränderungen der Bodenerodibilität in einem gegebenen Boden-Klima Szenario beschreibt. Die Tab. 2 illustriert diesen Prozess für die beiden Böden dieser Untersuchung.

Tab. 2 Relevante Niederschlags- und Bodeneigenschaften für kurzzeitige Änderungen der Bodenerodibilität.

Boden	Eigenschaften	Sensitivität	Niederschlagsmuster	Wahrscheinlichkeit kurzzeitiger Änderung der Erodibilität
<b>Kastanozem</b>	Tonreich, aggregiert, Neigung zu Versiegelung, Schrumpfung und Quellung	hoch	Sehr variable Menge und Frequenz, variierender Austrocknungsgrad zwischen Ereignissen	Sehr wahrscheinlich und grosses Spektrum der Veränderung
<b>Vertisol</b>	Aggregiert, keine oder geringe Neigung zur Versiegelung und Krustenbildung	mässig		Weniger wahrscheinlich und relativ geringer Veränderungsbereich

Die Matrix bietet somit einen qualitativen Index der kurzzeitigen Dynamik der Bodenerodibilität, die für die Kalibrierung von Erosionsmodellen und die Identifikation von Ungenauigkeiten bei den Vorhersageergebnissen genutzt werden kann. Falls die Erodibilität eines Bodens mit Hilfe dieser Matrix als relativ stabil eingeschätzt wird, kann die Modellkalibrierung auf wenige Niederschlagsereignisse beschränkt werden. Auftretende Änderungen im Erosionsgeschehen wären dann anderen Faktoren, wie zum Beispiel der Vegetation, zuzuschreiben. Zeigen die Bodensensitivität oder der Niederschlagsverlauf eine hohe Prädisposition für kurzzeitige Veränderungen der Erodibilität auf, so müssen bei der Kalibrierung solche Niederschlagsereignisse und Austrocknungsverläufe herangezogen werden, die mit dem Modell vorhergesagt werden sollen. Ist in diesem Fall nur eine geringe Anzahl von Ereignissen vorhanden, so ist es sehr wahrscheinlich, dass die Vorhersagen ungenau sind. Weiterhin kann die Matrix dazu verwendet werden, den Einfluss zukünftiger Klima- und Landnutzungsänderungen auf die Bodenerodibilität zu beurteilen. Eine grosse Variabilität der Intensität, Frequenz und Magnitude, sowohl des Niederschlags als auch der Austrocknung, erhöht sehr wahrscheinlich den Schwankungsbereich der auftretenden Bodenerodibilität. Dies hat eine verringerte Vorhersagegenauigkeit der Erosionsmodelle zur Folge, insbesondere wenn durch den Klima- oder Landnutzungswandel Änderungen der Bodeneigenschaften auftreten, die einen grossen Einfluss auf die Bodenerosion haben.

## 4 Schlussfolgerungen

Das Ziel dieser Untersuchung war die Entwicklung eines konzeptionellen Systems, um kurzzeitige Veränderungen im Zusammenspiel von Boden und Klima und deren Auswirkung auf die Bodenerodibilität zu erfassen. Die gewonnenen Erkenntnisse können dann in prozessbasierte Modelle integriert werden, um die Qualität der Erosionsvorhersage zu verbessern. Der vorgestellte Matrixansatz liefert einen qualitativen Index für die Beurteilung von Böden im Bezug auf deren Anfälligkeit zu kurzzeitigen Änderungen der Bodenerodibilität und des Potenzials vorhandener Niederschlags-Austrocknungs-Regime, die diese Veränderungen hervorrufen. Die Verwendung dieser Matrix wird derzeit durch Geländebeobachtungen und Laborexperimente überprüft. Zukünftige Untersuchungen sollten darauf abzielen, mehr und fundiertere Daten über die Auswirkungen spezifischer Niederschlags- und Austrocknungsszenarien auf die Bodeneigenschaften und das sich daraus ergebende Erosionsverhalten zu erlangen. Im Speziellen sollte der Einfluss des Bodentyps auf die strukturelle Entwicklung des Bodens bei Austrocknung und auf die Prozesse der Abflussbildung während aufeinander folgender Starkregenereignisse untersucht werden.

Ausserdem sollten die Auswirkungen der Niederschlagsmuster auf die Entwicklung der Oberflächenmorphologie und ihrer räumlichen Muster und Rückkopplungen auf die Erosivität des Abflusses in Modelle zur Bodenerosionsvorhersage integriert werden.

## Literatur

- Jetten V., de Roo A. & Favis Mortlock D. 1999. Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models. *Catena* 37: 521–541.
- Bryan R.B. 2000. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology* 32: 385–415.
- Hairsine P.B. & Hook R.A. 1995: Relating soil erosion by water to the nature of the soil surface. In: So H.B., Smith G.D, Raine S.R., Schafer B.M. & Loch R.J. [Hrsg.]: *Sealing, Crusting and Hardsetting Soils: Productivity and Conservation*. Brisbane, 77–91.
- Moore B, Gates W.L., Mata L.J. & Underdal A. 2001. Advancing Our Understanding. In: IPCC: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, 769–785.
- Kuhn N.J. 2001. *The effect of rainstorm pattern on soil erodibility*. Unpublizierte Phd-Thesis, Universität von Toronto.
- Kuhn N.J. & Bryan R.B. 2003. Drying, soil surface condition and interrill erosion on two Ontario soils. *Catena* 57: 113–133.
- Kuhn N.J., Bryan R.B. & Navar J. 2003. Seal formation and interrill erosion on a smectite-rich Kastanozem from NE-Mexico. *Catena* 52: 149–169.
- Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47: 425–437.
- Luk S.X, Cai Q.G. & Wang G.P. 1993. Effects of surface crusting and slope gradient on soil and water losses in the hilly loes region, North China. *Catena Supplement* 24: 29–45.
- Moore C. & Singer M.J. 1990. Crust formation effects on soil erosion processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1117–1123.
- Valentin C. 1998. Towards an improved predictive capability for soil erosion under global change. In: Boardman J. & Favis-Mortlock D.T. [Hrsg.]: *Modelling soil erosion by water*. Berlin, 7–17.
- Zhang X.C. & Miller W.P. 1993. The effect of drying on runoff and interrill erosion of crusted soils. *Catena Supplement* 24: 103–114.
- Zhang X.C., Nearing M.A., Miller W.P, Norton L.D. & West L.T. 1998. Modelling interrill sediment delivery. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 438–444.

