

Erosionsvorsorgende Landwirtschaft

Für den nachhaltigen Umgang mit Boden- und Wasserressourcen sowie den Schutz vor extremen Sedimentfrachten ist eine Vermeidung der Bodenerosion in Agrarlandschaften von großer Bedeutung. Ziel des Beitrages ist es, anhand von Literaturergebnissen und eigenen Forschungsarbeiten die Möglichkeiten erosionsvorsorgender Landwirtschaft sowie integriertem Flächenmanagement aufzuzeigen. Dazu wird die Wirksamkeit von ackerbaulichen und linearen/punktuellen landwirtschaftlichen Maßnahmen sowie deren Kombination dargestellt und bewertet.

Peter Fiener

Um zu einem nachhaltigen Umgang mit Boden- und Wasserressourcen zu gelangen und unter anderem extreme, lokale Sedimentfrachten bei Starkregen zu reduzieren, ist die Verminderung der Bodenerosion unerlässlich. Selbst bei geringer Hangneigung tritt Bodenerosion vor allem auf ackerbaulich genutzten Flächen auf. Auf Grund des großen Flächenanteils und des auf Ackerland ohnehin intensiven Bodenmanagements liegt hier auch das größte Potenzial durch angepasstes Management eine Verminderung der Bodenerosion zu erreichen.

Ziele des hier vorgelegten Beitrages ist es anhand von Literaturergebnissen und eigenen Forschungsarbeiten die Möglichkeiten erosionsvorsorgender Landwirtschaft aufzuzeigen. Dabei werden drei Themenkomplexe angesprochen:

- i) Vermeidung von flächenhafter Erosion und Oberflächenabflussbildung durch geeignete ackerbauliche Maßnahmen,
- ii) Verminderung von linearer Erosion durch konzentrierten Oberflächenabfluss und Erhöhung des Sedimentrückhalts sowie
- iii) Möglichkeiten des integrierten Flächenmanagements zur Verringerung von Sedimenteintrag in Gewässer.

1 Ackerbaulich Flächenmaßnahmen

Die ackerbauliche Flächennutzung greift in vielfältiger Weise in die Oberflächenabflussbildung und -konzentration sowie Erosionsanfälligkeit der Böden ein. Hinsichtlich der flächenhaften Erosion sind zwei Aspekte besonders hervorzuheben:

- i) Die Steuerung der Struktur der Bodenoberfläche und
- ii) die Pflege der Struktur des Bodenkörpers.

Bei erosiven Starkregen führt der Regentropfenaufprall auf unbedeckten Boden zur Ablösung von Bodenmaterial und damit zur flächenhaften Erosion. Zudem wird die Struktur der Bodenoberfläche durch den Aufprall der Regentropfen stark verändert, so dass sich eine wenige Millimeter mächtige Bodenkruste entwickelt, die zu eingeschränkter Infiltration führt. Die wichtigste Steuergröße für diesen Prozess, die durch landwirtschaftliches Management beeinflusst werden kann, ist die Bodenbedeckung mit Ackerfrüchten und Pflanzenresten (Mulch). Der Zusammenhang zwischen relativer Bodenerosion und relativer Bodenbedeckung wurde in einer Vielzahl von Studien meist durch Parzellenversuche nachgewiesen (**Bild 1**).

Aus landwirtschaftlicher Sicht kann die Bodenbedeckung grundsätzlich durch zwei Maßnahmen verändert werden:

Kompakt

- Erosionsvorsorgende Landwirtschaft vermindert substanziell Bodendegradation und Sedimenteintrag in angrenzende Ökosysteme.
- Angepasste ackerbauliche Maßnahmen nach Umstellungsinvestitionen sind weitestgehend kostenneutral möglich.
- Integriertes Flächenmanagement mit kombinierten ackerbaulichen und punktuell/linearen Maßnahmen ist am wirkungsvollsten.

- i) Optimierung der Pflanzenbedeckung durch angepasste Fruchtfolgen und durch Einführung von Zwischenfrüchten sowie
- ii) Erhöhung der Bodenbedeckung durch die Vermeidung der Einarbeitung von Pflanzenresten (Mulch) durch angepasste (Grund-) Bodenbearbeitung. Bei all diesen Optimierungsmaßnahmen ist der regionale Jahresgang der Bodenbedeckung und der regionale Jahresgang der Eintrittswahrscheinlichkeit von erosiven Starkniederschlägen zu beachten. Wie **Bild 2** beispielhaft anhand von Daten aus Süddeutschland zeigt, sind die gewählten Maßnahmen besonders erfolgversprechend, wenn die Bodenbedeckung durch die Hauptfrucht noch nicht bzw. nicht mehr gegeben ist und gleichzeitig die Regenerosivität bereits bzw. noch hohe Werte aufweist. Am Beispiel zeigt sich aber auch, dass sich selbst bei einem optimierten System kurze Phasen großer Erosionsgefährdung nicht vermeiden lassen. Diese können z. B. durch einen spezifischen Witterungsverlauf bedingt (siehe geringe Mulchbe-

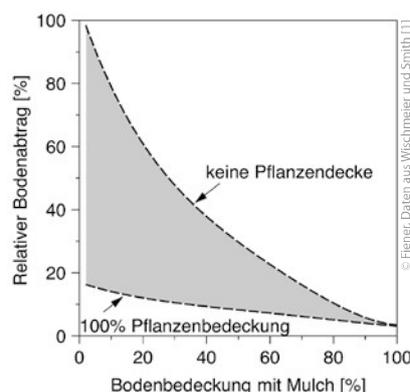


Bild 1: Abhängigkeit des relativen Bodenabtrages bei unterschiedlicher Bodenbedeckung durch Mulch und Ackerpflanzen

deckung im Mai 94; Bild 2) oder die unvermeidbare Folge einer gewählten Fruchtfolge sein (völliges Fehlen der Bodenbedeckung nach der Kartoffelernte; Okt. 94; Bild 2).

Eine verbesserte Mulchbedeckung lässt sich durch weniger intensives Abernten oberirdischer Biomasse und durch unterschiedliche Formen der reduzierten Grundbodenbearbeitung erreichen. Bei der reduzierten Grundbodenbearbeitung werden zwei, manchmal drei Bearbeitungsformen unterschieden:

- i) Konservierende bzw. reduzierte Bodenbearbeitung: Unter der Bezeichnung konservierende Bodenbearbeitung finden sich in der Literatur recht variable Ansätze. Das einzige Kriterium, das all diesen immer zugrunde liegt, ist das Fehlen des Einsatzes eines konventionellen Wendepflugs. Die reduzierte Bodenbearbeitung geht in aller Regel mit dem Verbleib einer Mulchauflage nach der Grundbodenbearbeitung einher. Da anschließend in die Mulchauflage gesät wird, wird die konservierende Bodenbearbeitung oftmals auch als Mulchsaat bezeichnet.
- ii) Direktsaat: Bei der Direktsaat wird auf die Grundbodenbearbeitung gänzlich verzichtet, wobei das Saatgut direkt in den unbearbeiteten, mit Pflanzen oder deren Resten bedeckten Boden abgelegt wird. Mittels spezieller Säschare wird lediglich ein Schlitz im Boden geöffnet und nach der Saatgutablage wieder geschlossen.
- iii) Streifensaart: Die Streifensaart oder Streifenbearbeitung ist ein in den USA relativ weit verbreitetes Verfahren, das aus der Direktsaat entstanden ist. Dabei wird die spätere Saatreihe in Steifen gelockert, wobei ca. 2/3 der Fläche unbearbeitet bleiben. Ziel ist es, die Vorteile der Direktsaat mit Vorteilen intensiverer Bodenbearbeitung zu verbinden. Die Streifensaart ist insbesondere bei Reihenkulturen erfolgversprechend.

Vor allem zur Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen. Ein aktueller Übersichtsartikel von Prosdocimi et al. [2] zur Wirkung von Mulchbedeckung auf die Erosionsreduktion bei Parzellenversuchen zeigt, dass je nach Umweltbedingungen (Niederschlagscharakteristik, Neigung, Bodeneigenschaften, Mulchmenge etc.) eine mittlere Reduktion der Erosion um 71,2% (Standardabweichung 31,4%) zu erreichen war. Diese Wirksamkeit schwankte aber zwischen 12,3 und 96,1%, d. h. die Art und Weise wie und in welchen Mengen Mulch auf der Bodenoberfläche vorliegt, ist entscheidend für die Erosionsreduktion. Reduzierte Bodenbearbeitung ist also nur dann erfolgversprechend, wenn zum richtigen Zeitpunkt im Jahr eine Mulchbedeckung gewährleistet werden kann (Bild 2). Diese ist oftmals v. a. vor der Einsaat im Frühjahr, wenn Mulchmaterial teilweise zur Vereinfachung der Einsaat oberflächlich eingearbeitet wird, problematisch.

Eine grundsätzliche Anleitung und Anregung zur Umsetzung der jeweiligen ackerbaulichen Maßnahmen sowie zum jeweiligen Wirkungsgrad, den betriebswirtschaftlichen Kosten, der Kontrollier- und Verwaltbarkeit sowie der Akzeptanz in der landwirtschaftlichen Praxis finden sich beispielsweise in DWA [3].

Als weitere wichtige Maßnahmen zur Reduktion der Boden-erosion ist die Pflege der Struktur des Bodenkörpers zu nennen. Dazu gehört eine Verminderung der mechanischen Bodenbelastung durch Befahrung und Bearbeitung, eine Erhöhung der Aggregatstabilität über standortgerechte Zufuhr organischer Substanz sowie eine Verbesserung der hydrologischen Konnektivität

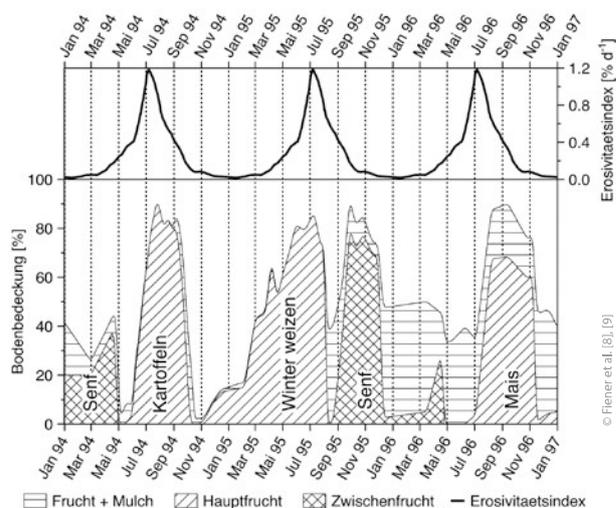


Bild 2: Mittlere Bodenbedeckung (gemessen Jan. 1994 bis Dez. 1997) auf einem Schlag mit der Fruchtfolge (Winterweizen-) Kartoffeln-Winterweizen-Mais; gleitendes 30-Tagesmittel der Regen-erosivität (aus 8-jährigen Messungen; Jan. 1994 bis Dez. 2001)

von Makroporen (v. a. bei Direktsaat) [3]. Die oftmals zum Erosionsschutz eingesetzte konturlinienparallele Bodenbearbeitung ist hingegen differenziert zu betrachten, da diese bei kleineren und mittleren Erosionsereignissen erosionsmindernd, bei größeren extremen Ereignissen jedoch erosionsfördernd wirken kann.

2 Lineare und punktuelle Maßnahmen

Während ackerbauliche Maßnahmen die Abflussbildung und flächenhafte Erosion beeinflussen, setzen punktuelle und lineare Maßnahmen im Bereich des bereits konzentrierten Oberflächenabflusses an und verändern damit die lineare Erosion sowie den Sedimentrückhalt. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen ist vom Zufluss und Sedimenteintrag aus dem jeweiligen Einzugsgebiet der Maßnahme geprägt. Generell gilt, je geringer Zuflussrate und -volumen sowie Sedimenteintrag sind, desto effektiver ist die jeweilige Maßnahme. Hinsichtlich der Wirkung linearer und punktueller Maßnahmen auf die Vermeidung linearer Erosion und den Sedimentrückhalt lassen sich im Wesentlichen zwei Prozesskomplexe unterscheiden:

- i) Verminderung der Abflussgeschwindigkeit, der auf dem Boden wirkenden Scherkräfte und der Transportkapazität des Abflusses sowie

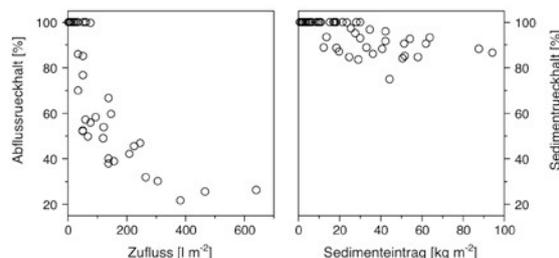


Bild 3: Modellierter Abfluss- und Sedimentrückhalt in einem 6 m breiten Grasfilterstreifen bei unterschiedlichem Zufluss bzw. Sedimenteintrag pro überflössener Fläche des Filterstreifens

ii) Förderung der Infiltration des zufließenden Oberflächenabflusses.

Die daraus resultierende Reduktion des Oberflächenabflussvolumens führt in gleichem Maße zu einer Reduktion des Austrages partikulärer und gelöster Stoffe.

Die wohl am häufigsten eingesetzte lineare Maßnahmen sind (Gras-) Filterstreifen entlang von Feldgrenzen, am Hangfuß oder entlang von Gewässern (Uferrandstreifen). Die Wirkung der Filterstreifen auf den Oberflächenabfluss und den Sedimentrückhalt hängt wesentlich von den Eigenschaften des Zuflusses und Sedimenteintrags ab. Filterstreifen, die flächenhaft durchflossen werden, sind deutlich effektiver als solche, bei denen konzentrierter Zufluss entlang einer Tiefenlinie stattfindet. Man kann pauschal davon ausgehen, dass die Effektivität von Filterstreifen mit zunehmendem Einzugsgebiet je durchflossener Filterstreifenbreite abnimmt. Dieser Zusammenhang wird oftmals nicht berücksichtigt, so dass die Effektivität der Filterstreifen überschätzt wird. Dies liegt vor allem daran, dass Filterstreifen meist in Parzellenversuchen getestet werden, so dass das Verhältnis zwischen abflussproduzierender Fläche und Filterstreifen relativ klein ist. Eine der wenigen Studien, mit realistischeren Zuflüssen und Sedimenteinträgen wurde von Deletic [4] vorgelegt (**Bild 3**). Es handelt sich um eine Modellierungsstudie, die jedoch die Veränderung der Eigenschaften des Filterstreifens durch Sedimentation und potenzielles Knicken bzw. Umlegen des Grasses nicht berücksichtigt. Deshalb ist davon auszugehen, dass auch hier mit einer deutlichen Überschätzung des Sedimentrückhalts bei großer Sedimentzufuhr zu rechnen ist. Geht man wie in Bild 3 dargestellt von einem Sedimenteintrag von 100 kg/m^2 und einem Rückhalt von 90 % aus, würde es zu einer Sedimentauflage von 6 bis 7 cm kommen. Unter diesen Bedingungen ist ein weiterer Sedimentrückhalt aufgrund der deutlich geringeren hydraulischen Rauheit des abgelagerten Sediments nicht mehr zu erwarten.

Eine deutlich effektivere Maßnahme zur Reduktion der linearen Erosion und zum Sedimentrückhalt sind begrünte Abflussmulden (engl. grassed waterways). Begrünte Abflussmulden sind in Nordamerika relativ weit verbreitet, in Deutschland aber eine selten anzutreffende Maßnahme. Im Vergleich zu der sehr großen Zahl an Studien, die sich mit der abflussreduzierenden Wirkung von Filterstreifen beschäftigen, sind experimentelle Studien zu begrünten Abflussmulden relativ selten. Dabei wäre eine größere Anzahl von Studien, die sich nicht nur mit den Auswirkungen von lateral zufließendem Schichtabfluss (wie bei den meisten Filterstreifenversuchen), sondern auch mit den Auswirkungen von begrünten Abflussmulden auf den konzentrierten Abfluss entlang der Tiefenlinie beschäftigen, wünschenswert. Studien in paarweise angeordneten Kleineinzugsgebieten (5-10 ha) zeigen das große Abflussreduktions- und Sedimentrückhaltepotenzial von begrünten Abflussmulden [5] (**Bild 4**). Insgesamt erscheint ein langjähriger Rückhalt von 80-90 % des eingetragenen Sediment realistisch [5].

Zu den punktuellen Maßnahmen, die den Oberflächenabfluss und Sedimentaustrag von landwirtschaftlichen Flächen regulieren, zählen auch kleine gesteuerte oder ungesteuerte Rückhaltebecken. In der Regel werden solche Rückhaltebecken als ingenieurtechnische Maßnahme angelegt, um besonders schützenswerte Güter (z. B. Infrastruktur, Wohnbebauung) vor Überflutungen bei Sturz-

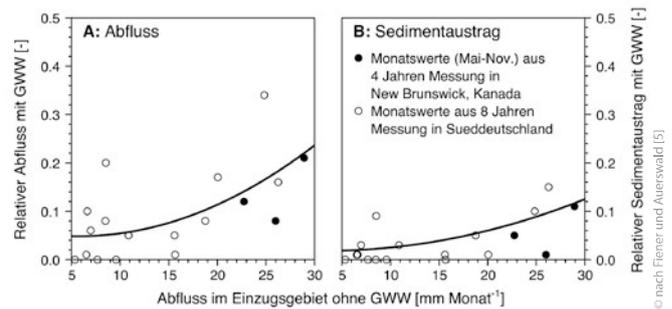


Bild 4: Relativer Sediment- und Abflussrückhalt benachbarter Einzugsgebiete mit und ohne begrünter Abflussmulde bzw. Grassed Waterway (GWW)

fluten zu schützen. Anders verhält es sich mit ungesteuerten Kleinrückhaltebecken, die sich bei entsprechendem Gelände mit landwirtschaftlicher Technik an Feldrändern erstellen lassen und die den landwirtschaftlichen Betrieb nicht bzw. kaum beeinflussen. Ein Beispiel für ein solches Rückhaltebecken zeigt **Bild 5**. Das dargestellte Rückhaltebecken wurde mit landwirtschaftlicher Technik durch Erhöhung eines quer zum Gefälle verlaufenden Weges erstellt und mit einem ungesteuerten Abflusssystem versehen. Ziel derartiger Kleinrückhaltebecken am Rande von Ackerflächen ist es, bei Starkniederschlägen den Spitzenabfluss von Ackerflächen zu reduzieren sowie Sedimentaustrag und Austrag von sedimentgebundenen Stoffen zu verringern. Insgesamt weisen solche Kleinrückhaltebecken ein großes Sedimentrückhaltepotenzial auf (Bild 5). Es ist jedoch in Abhängigkeit von den Erosionsschutzmaßnahmen auf den angeschlossenen Feldschlägen mit regelmäßigen Kosten für das Entfernen von abgelagertem Sediment zu rechnen. Im gewählten Beispiel in Bild 5 wurden die Einzugsgebiete der Kleinrückhaltebecken nach anfänglich hohen Einträgen auf bodenschonende Bewirtschaftung umgestellt. Damit wurde der Sedimenteintrag in den folgenden Jahren so stark reduziert, dass die Sedimentablagerung technisch nicht mehr erfassbar war [6].

3 Integriertes Flächenmanagement

Die Auswirkungen landwirtschaftlicher Maßnahmen (ackerbaulich sowie lineare und punktuelle Maßnahmen) auf Erosion und Sedimentaustrag werden in aller Regel mit Parzellenversuchen analysiert. Diese Herangehensweise ist hinsichtlich des Messaufwandes und der statistischen Absicherung von Ergeb-

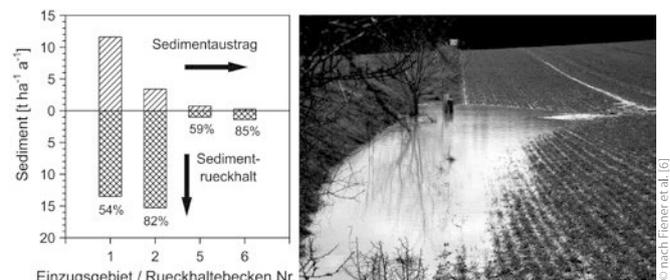


Bild 5: Sedimentrückhalt gemessen in vier ungesteuerten Kleinrückhaltebecken am Feldrand, Erddämme sind mit landwirtschaftlichen Mitteln aufgeschüttet, maximale Retentionszeit ca. 3 Tage

nissen durch eine große Zahl an Replikaten vorteilhaft. Die Nachteile liegen in der begrenzten Übertragbarkeit der gemessenen Ergebnisse auf die Einzugsgebietsskala und in der fehlenden Abbildung von Maßnahmen, die erst im Landschaftsmaßstab (wechsel-) wirken. Studien, die die Wechselwirkungen bzw. die kombinierte Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen untersuchen, sind ausgesprochen selten. Einer der wenigen Versuche auf Landschaftsskala, der die Wirkung kombinierter Maßnahmen über acht Jahre untersucht und dokumentiert hat, wurde auf einem Versuchsgut im bayerischen Tertiärhügelland (ca. 40 km nördlich von München) durchgeführt [7]. Durch Veränderung der Schlageinteilung, Einführung bodenschonender Bewirtschaftung sowie ausgewählter linearer und punktueller Maßnahmen bei gleichzeitiger Profitoptimierung der Bewirtschaftung [7] wurde eine Reduktion des Sedimentaustrags aus 12 Kleineinzugsgebieten um den Faktor 10-20 realisiert.

Neben einer geeigneten Kombination flächenhafter sowie punktueller und linearer Maßnahmen ist für den Erosionsschutz vor allem die Hang- und Schlageinteilung von großer Bedeutung [3], da diese die hydrologische und sedimentologische Konnektivität kleiner Einzugsgebiete maßgeblich beeinflusst. Unterschiedliche Ackerfrüchte sind in der Regel zu unterschiedlichen Zeiten des Jahres besonders erosionsanfällig (Bild 2). Sind entlang eines Hanges wechselnde Kulturen angebaut, so erhöht das die Chance, dass Sediment aus einer temporär erosionsanfälligen Fläche in der darunterliegenden Fläche wieder abgelagert wird. Zudem kann so Grabenerosion, die erosionsanfällige Flächen auf direktem Wege mit Gewässern verbindet, vermieden oder zumindest eingeschränkt werden. Betrachtet man die aktuellen Entwicklungen in der Landwirtschaft, werden die landwirtschaftlichen Schläge in der Regel seit Jahrzehnten immer größer [5], d. h. eine Unterteilung von Schlägen entlang erosiver Hänge nimmt aufgrund der gegenwärtigen Entwicklung eher ab. Um die Wirkung vorhandener Schlagunterteilung auf erosionsgefährdeten Hänge zu optimieren, ist die kooperierende Anbauplanung, die einen Wechsel der Ackerfrüchte entlang solcher Hänge auch bei unterschiedlichen Bewirtschaftern gewährleistet, eine ausgesprochen erfolgversprechende Maßnahme [3].

4 Fazit

Grundsätzlich ist es möglich, die Bodenerosion in intensiv genutzten Agrarlandschaften in Deutschland deutlich zu verrin-

gern. In Regionen mit großem Erosionspotenzial ist durch angepasstes Management eine Reduktion der Erosion um den Faktor zehn oder mehr erreichbar. Besonders erfolgversprechend ist die integrierte Betrachtung besonders erosionsgefährdeter Kleineinzugsgebiete. Neben ackerbaulichen Maßnahmen zur Reduktion der flächenhaften Erosion, die nach entsprechender Betriebsanpassung weitestgehend kostenneutral möglich sind, sind bei geeigneter Planung lineare und punktuelle Maßnahmen zur Vermeidung von Grabenerosion und zum Rückhalt von Sediment im Einzugsgebiet besonders erfolgversprechend. Wichtig ist es dabei immer, vor allem in Regionen mit kleinen Betriebsgrößen, ganze Landschaftseinheiten und nicht nur einzelne landwirtschaftliche Betriebe in den Blick zu nehmen.

Autor

Prof. Dr. Peter Fiener
 Institut für Geographie
 Universität Augsburg
 Alter Postweg 118
 86159 Augsburg
 fiener@geo.uni-augsburg.de

Literatur

- [1] Wischmeier, W. H.; Smith, D. D.: Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. U. S. Gov. Print Office (1978), Washington, DC.
- [2] Prosdoci, M.; Tarolli, P.; Cerdà, A.: Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. In: *Earth-Science Reviews* 161 (2016), S. 191-203.
- [3] DWA (Hrsg.): Stoffeinträge in Gewässer durch Bodenerosion. In: *DWA-Merkblätter* (2012), M 910.
- [4] Deletic, A.: Modelling of water and sediment transport over grassed areas. In: *Journal of Hydrology* 248 (2001), S. 168-182.
- [5] Fiener, P.; Auerswald, K. Grassed Waterways. In: Delgado, J., Sassenrath, G., Mueller, T. (eds.): *Precision Conservation: Geospatial Techniques for Agricultural and Natural Resources Conservation* (2017), Nr. 59.
- [6] Fiener, P.; Auerswald, K.; Weigand, S.: Managing erosion and water quality in agricultural watersheds by small detention ponds. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 110 (2005), S. 132-142.
- [7] Auerswald, K.; Albrecht, H.; Kainz, M.; Pfadenhauer, J.: Principles of sustainable land-use systems developed and evaluated by the Munich Research Alliance on agro-ecosystems (FAM). In: *Petermanns Geographische Mitteilungen* 144 (2000), S. 16-25.
- [8] Fiener, P.; Govers, G.; Van Oost, K.: Evaluation of a dynamic multi-class sediment transport model in a catchment under soil-conservation agriculture. In: *Earth Surface Processes and Landforms* 33 (2008), S. 1639-1660.
- [9] Fiener, P.; Auerswald, K.; Van Oost, K.: Spatio-temporal patterns in land use and management affecting surface runoff response of agricultural catchments – a review. In: *Earth-Science Reviews* 106 (2011), S. 92-104.

Peter Fiener

Erosion control in agriculture

For a sustainable management of soil and water resources and the prevention of muddy floods, it is essential to establish optimized soil conservation systems in agricultural landscapes.

The aim of this manuscript is to give an overview of different measures for agricultural soil conservation and integrated erosion management. Therefore, the effects of different in-field soil conservation measures on interrill and rill erosion as well as linear and point features to prevent (ephemeral) gully erosion and promote on-site sedimentation are evaluated. Last but not least the combined effect of measures in an integrated approach is elucidated and discussed.