

## 3.2 Bodenerosion in Mitteleuropa - Auswirkungen des Klima- und Landmanagementwandels

PETER FIENER & FLORIAN WILKEN

Generell ist die Bodenerosion auf Ackerflächen eine der grundlegendsten und langfristigsten Gefährdungen der Bodenressourcen in Mitteleuropa. Unter Bedingungen des globalen Klimawandels wächst insbesondere die Gefährdung durch Wassererosion basierend auf einem messbaren Anstieg der Niederschlagserosivität im Zusammenhang mit vermehrten bzw. ausgeprägteren Starkregenereignissen. Ein sich änderndes Klima führt aber auch zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode. Inwieweit sich dies positiv oder negativ auf die Bodenerosion auswirkt, hängt grundsätzlich vom landwirtschaftlichen Management und einer potenziellen Anpassung an den Klimawandel ab. Da diese Anpassungen sehr vielseitig sein können, zum Beispiel Anpassung von Ernte und Aussaattermin, Veränderung von Fruchtfolgen, Bewässerung etc., ist es hier schwer, zu generellen Aussagen zu kommen. Parallel zum Klimawandel hat über die letzten Jahrzehnte zudem eine ständige Veränderung der landwirtschaftlichen Praxis stattgefunden, die ebenso auf die Bodenerosion wirkt. Hier ist hinsichtlich der Anbaufrüchte insbesondere auf die Zunahme des Maisanbaus zu verweisen, die vor allem dann zur Zunahme der Erosionsgefährdung geführt hat, wenn dieser zu Lasten von Grünlandflächen stattgefunden hat. Neben veränderten Kulturarten hat auch eine Konsolidierung in der Landwirtschaft stattgefunden, d.h. die Betriebseinheiten und damit auch die Feldschläge sind in der Regel stark gewachsen, was zu einer größeren Durchgängigkeit der Agrarlandschaften hinsichtlich Oberflächenabfluss und Sedimenttransport geführt hat. Insgesamt kann man zusammenfassen, dass Klima- und Landmanagementwandel in den letzten Jahrzehnten das Erosionspotential erhöht hat. Dies gilt nicht generell für alle Flächen, da vor allem durch bodenkonservierende Bewirtschaftung große Erfolge beim Erosionsschutz erreicht werden können.

**Soil erosion in Central Europe - Effects of climate and land management change:** Soil erosion on arable land is one of the major long-term degradation processes of soil resources in Central Europe. Climate change has driven an increase of rainfall erosivity due to a higher frequency and magnitude of heavy rainfall events. However, changes in rainfall properties also cause vegetation feedback to management changes. The climate change driven impact on soil erosion is therefore strongly related to agricultural management and adaptation strategies. A generalised statement on the climate change driven impact on soil erosion is complex as various adaptation strategies can be implemented such as adapt sowing and harvesting dates, change in crop rotation, irrigation etc. Simultaneously to climate change, a change in agricultural practices and structures has taken place over the past decades. One of the most important changes regarding soil erosion is an increase of maize cultivation, particularly if previous grassland has been converted. Furthermore, merging of arable fields to increase size and management efficiency has caused higher connectivity of surface runoff and sediment transport. In general, climate and land management change have increased the soil erosion potential over the course of past decades. However, this does not impact all fields, as soil conservation measures have been implemented and successfully mitigate soil degradation.

**Erosión del suelo en Europa central - Efectos del cambio climático y de la gestión de la tierra:** En general, la erosión del suelo en las tierras cultivables es una de las amenazas más fundamentales a largo plazo para los recursos del suelo en Europa central. El cambio climático ha llevado a un incremento de la erosividad debido a una mayor frecuencia y magnitud de los eventos con lluvias intensas. Sin embargo, los cambios en las propiedades de las precipitaciones también dan lugar a una respuesta de la vegetación ante los cambios de manejo de los suelos. Una opinión global sobre el impacto del cambio climático en la erosión del suelo es compleja, y varias estrategias de adaptación pueden implementarse, tales como adaptar las fechas de siega y cosecha, cambios en la rotación de cultivos, irrigación, etc. Paralelamente al cambio climático, también ha habido un cambio constante en la práctica agrícola durante las últimas décadas, que también tiene un impacto en la erosión del suelo. Por lo que se refiere a los cultivos, conviene hacer referencia en particular al aumento del cultivo de maíz, que ha provocado un aumento del riesgo de erosión, especialmente cuando se ha producido a expensas de las zonas de pastizales. Además de los cultivos cambiados, también se ha producido una consolidación en la agricultura, es decir, las unidades operativas y por lo tanto también los campos han crecido generalmente de manera significativa, lo que ha llevado a una mayor permeabilidad de los paisajes agrícolas en términos de escorrentía superficial y transporte de sedimentos. En general, se puede resumir que el cambio climático y la gestión de la tierra ha aumentado el potencial de erosión en las últimas décadas. Por lo general, esto no se aplica a todas las áreas, ya que se pueden lograr grandes éxitos en la protección contra la erosión principalmente mediante cultivos que conservan el suelo.

### Bodenerosion

Bodenverlagerung durch Erosion kann eine ganze Reihe von Ursachen haben, die entweder von natürlichen Prozessen ausgelöst werden oder primär auf menschlichen Eingriffen beruhen. Auch wenn oftmals allgemein von Bodenerosion gesprochen wird, das heißt genau genommen dem Abtrag und damit Verlust von Boden, sind mit den Prozessen der Erosion Verlagerungsprozesse verbunden, die ebenso einzugsgebietsinterne Sedimen-

tablagerung (Deposition) oder Sedimentaustag in benachbarte Ökosysteme umfassen. Wenn im Folgenden also allgemein über die unterschiedlichen Prozesse der Bodenerosion gesprochen wird, sind damit auch die Prozesse der Deposition und des Austrags verbunden.

Zu den natürlichen Prozessen der Bodenerosion zählen die Wasser- und Winderosion. Da beide Prozesse maßgeblich durch den Grad der Bodenbedeckung mit lebenden Pflanzen oder abgestorbenem Pflanzen-

material gesteuert werden, sind Wasser- und Winderosion in Mitteleuropa vor allem auf landwirtschaftlichen Flächen bedeutend und um Größenordnungen höher als bei anderen Landnutzungen. Vereinfacht kann das Erosionspotenzial einzelner Landnutzungsformen nach folgender Regel von der höchsten zur niedrigsten Erosion gestaffelt werden: unbedeckter Boden, konventioneller Ackerbau, bodenschonender Ackerbau, Grünland und Waldflächen.

Weitere wichtige Prozesse der Erosion im Kontext ackerbaulicher Bodennutzung sind die Bearbeitungs-erosion, das heißt die Bodenumlagerung innerhalb von Feldschlägen durch die Bodenbearbeitung, sowie die Ernteerosion, d.h. der Bodenverlust durch Anhaftung von Bodenmaterial an geernteten Ackerfrüchten, wie zum Beispiel Kartoffeln. Während die Ernteerosion auf Anbaugelände von Wurzelfrüchten beschränkt ist, tritt die Bearbeitungserosion auf allen Ackerflächen bereits ab relativ geringer Hangneigung auf. Globale Abschätzungen gehen davon aus, dass die Bodenerosion durch Bodenbearbeitung ungefähr 1/5 des Umfangs der Wassererosion und ungefähr den doppelten Umfang der Winderosion aufweist (QUINTON et al. 2010).

Aufgrund der dominanten Bedeutung und starken Klimawandelsensitivität der Wassererosion in Mitteleuropäischen Agrarlandschaften, wird in diesem Kapitel insbesondere auf die Wassererosion eingegangen. Dennoch muss der Vollständigkeit halber erwähnt werden, dass auch die Winderosion in Regionen mit regelmäßig auftretenden hohen Windgeschwindigkeiten (vor allem in Küstennähe), erheblich zur Erosion und Bodendegradation beitragen kann (z.B. DEUMLICH et al. 2006). So wurden beispielsweise in Brandenburg ein Bodenverlust bei einzelnen Winderosionsereignissen von mehr als 100 t/ha gemessen (DEUMLICH et al. 2006). Neben den Einflüssen des Klima- und Landmanagementwandels auf die Bodenbedeckung (siehe nachfolgendes Kapitel zur Wassererosion), spielen auch klimatisch bedingte Veränderungen der Bodenfeuchte eine entscheidende Rolle für potenzielle Veränderungen der Winderosion. Dabei fördern sowohl häufigere Phasen ausgetrockneten Bodens zu Zeiten geringer Vegetationsbedeckung im Frühjahr, als auch ausgeprägte Bodentrockenheit während der Bodenbearbeitung die Winderosion (FUNK et al. 2008). Zudem führt eine potenzielle Vergrößerung von Feldschlägen und eine Beseitigung von Landschaftsstrukturelementen (vor allem Hecken und Gehölze) zu höheren Windgeschwindigkeiten in Bodennähe. Generell gibt es regional sehr unterschiedliche Entwicklungen, so dass keine eindeutige Aussage hinsichtlich Zu- bzw. Abnahme der Winderosion getroffen werden kann.

Um den potenziellen Einfluss des Klima- und Landmanagementwandels auf die Wassererosion einschätzen zu können, werden im Folgenden die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Wassererosion auf Ackerland kurz dargestellt.

Die wesentlichen Einflussfaktoren der Wassererosion und auch die Grundlage des wohl am häufigsten verwendeten Erosionsmodells [*Universal Soil Loss Equation* (USLE) bzw. dessen deutscher Anpassung Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG), SCHWERTMANN et al. (1990)] sind: (i) Niederschlag bzw. Regenintensität, (ii) Bodenbedeckung, (iii) Bodenerodierbarkeit und (iv) Topographie. Hierbei sind der Niederschlag und die Bodenbedeckung die am deutlichsten vom Klimawandel beeinflussten Einflussfaktoren. In der Erosionsforschung wird die Regenintensität eines Standortes aus der Niederschlagshäufigkeit, -menge und -intensität einzelner (Stark-)Regenereignisse über einen repräsentativen Messzeitraum abgeleitet. Dabei spielt die saisonale Verteilung erosiver Niederschlagsereignisse und deren Zusammentreffen mit Ackerzuständen geringer Bodenbedeckung eine Schlüsselrolle für das Bodenerosionsgeschehen. Statischere Einflussfaktoren der Bodenerosion sind die Eigenschaften des Bodens, die einerseits die Anfälligkeit eines Bodens zur Ablösung von Materialien und andererseits die Infiltrationskapazität steuern. Hinsichtlich der Erosionsanfälligkeit spielen dabei vor allem Bodeneigenschaften wie die Textur, der Steingehalt, der Gehalt an organischer Substanz sowie die Bodenaggregation im Oberboden eine große Rolle. Bezüglich der Infiltrationskapazität kommen noch Eigenschaften an der Bodenoberfläche (vor allem Bodenverschlammung) und im Bodenprofil, zum Beispiel Lagerungsdichte, Makroporosität und Bodenverdichtung, zum Tragen. Dabei ist zu beachten, dass die Bodeneigenschaften unter Ackerland in gewissem Rahmen durch das Bodenmanagement beeinflusst werden. Dies gilt insbesondere für den Schutz vor Bodenverschlammung, den Gehalt an organischer Substanz, die Lagerungsdichte, die Makroporosität und natürlich die Bodenverdichtung durch landwirtschaftliche Maschinen. Darüber hinaus ist die Topographie des betrachteten Landschaftsausschnitts für das Bodenerosionsgeschehen entscheidend. Hierbei spielen die Hangneigung sowie Hanglänge und -form eine große Rolle, da diese die Abflussgeschwindigkeit und -konzentration regulieren. Die maximale Strecke der Abflusskonzentration wird häufig als erosive Hanglänge bezeichnet (SCHWERTMANN et al. 1990), die maßgeblich durch die Feldschlaggrößen und -muster innerhalb eines Einzugsgebietes beeinflusst wird.

## Auswirkung des Klima- und Landmanagementwandels

Klima- und Landmanagementwandel wirken in vielfältiger Weise auf die Steuergrößen der Bodenerosion durch Wasser (Abb. 3.2-1). Dabei ist zu beachten, dass die Anpassungen im Landmanagement, zum Beispiel

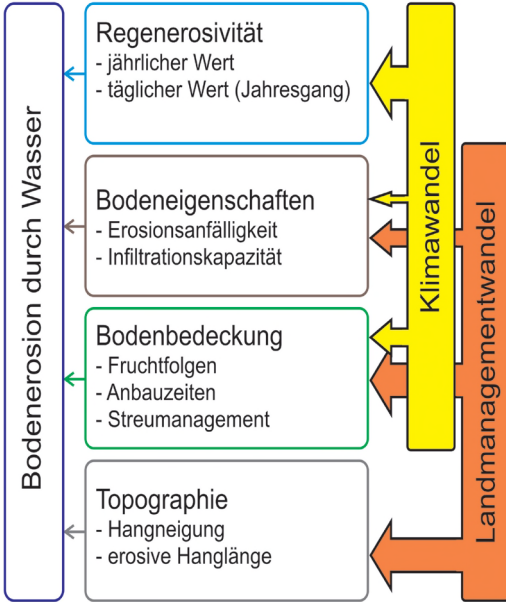


Abb. 3.2-1: Schematische Darstellung der wesentlichen Steuergrößen der Bodenerosion auf Ackerflächen durch Wasser sowie Einfluss auf diese Steuergrößen durch Klima- und Landmanagementwandel. Die Größe der Pfeile gibt einen ersten Anhaltspunkt für die Bedeutung von Klima- und Landmanagementwandel für die einzelnen Steuergrößen.

bezüglich Saat und Ernteterminen, ihrerseits durch den Klimawandel beeinflusst werden und sich damit komplexe Wechselwirkungen ergeben. Im Folgenden werden die Veränderungen der Steuergrößen der Bodenerosion erläutert, welche sich aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen der letzten Jahrzehnte abzeichnen. Es werden primär Studien herangezogen, die im weitesten Sinne Mitteleuropa bzw. Deutschland repräsentieren. Bei Prognosen zur potentiellen zukünftigen Entwicklung ist zu beachten, dass einerseits keine einheitlichen Studiendesigns (zum Beispiel mit einheitlich definierten Szenarien) für Mitteleuropa vorliegen und andererseits nur mit großen Unsicherheiten Abschätzungen für die zukünftige Entwicklung des landwirtschaftlichen Managements möglich sind.

### Klimawandel und Bodenerosion

Der wohl offensichtlichste Einfluss des Klimawandels auf die Bodenerosion geht mit einer potentiellen Veränderung der Häufigkeit und Intensität sowie der saisonalen Verteilung von erosiven Niederschlagsereignissen einher. Dabei spielt die in der Klimaforschung für Mitteleuropa belegte Tatsache eine Rolle, dass unter Klimawandelbedingungen mit dynamischeren Atmosphärenverhältnissen und damit intensiveren Starkregen zu rechnen ist (AUERSWALD et al. 2019). Wie sich derartige Veränderungen von einzelnen Starkregenereignissen auf die mittlere Erosion in größeren Gebieten auswirken, ist jedoch auf Grund der vielen anderen Steuergrößen der Erosion nur anhand langer Zeitreihen abschätzbar. Betrachtet wird dazu in der Erosionsforschung die Veränderung der jährlichen Regenerosivität sowie die Veränderung des Jahresgangs

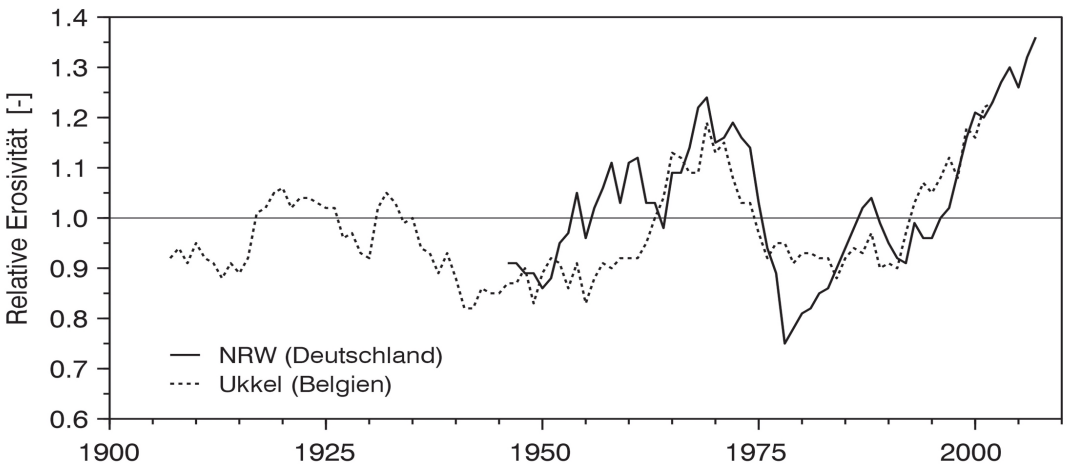


Abb. 3.2-2: Relative jährliche Erosivität anhand der Daten einer Station in Belgien nahe Brüssel (VERSTRAETEN et al. 2006) und zehn Stationen in Nordrhein-Westfalen (FIENER et al. 2013). Die Daten sind mit einem gleitenden Mittel über 10 Jahre geglättet. Zu Grunde liegenden Zeitreihen mit 5- bzw. 10-minütiger Auflösung. Der Wert 1 entspricht dem langjährigen Mittelwert der Stationen in Nordrhein-Westfalen (NRW).

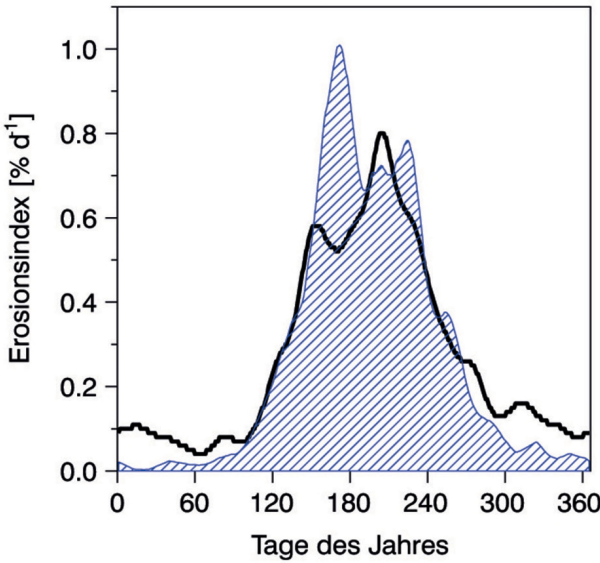
erosiver Niederschlagsereignisse. Zur Berechnung der Regenerosivität sind langjährige Niederschlagsdaten mit einem hochauflösenden Zeitschritt von 1 bis 10 min notwendig, weshalb es für Mitteleuropa nur wenige Langzeitstudien einzelner Niederschlagsstationen gibt (wie in *Abb. 3.2-2* gezeigt). Der dabei festgestellte Trend der Regenerosivität einzelner Stationen lässt sich zudem nicht generell auf Europa übertragen. So zeigen beispielsweise DEUMLICH & GERICKE (2020) in einer Analyse von extrem erosiven Niederschlägen in Deutschland für einzelne Messstationen auch eine Abnahme der besonders erosiven Ereignisse. Flächenhafte Daten zur Veränderung der Regenerosivität lassen sich durch den Vergleich aus interpolierten Stationsdaten (beispielsweise für die BRD; SAUERBORN 1994) und neueren Studien, die hochauflösende RegenradarDaten nutzen, ableiten. So haben AUERSWALD et al. (2019) RegenradarDaten des Deutschen Wetterdiensts für ganz Deutschland für den Zeitraum 2001 bis 2017 (zeitliche Auflösung 5-min bis 1 h; räumliche Auflösung 1×1 km<sup>2</sup>) genutzt, um eine aktuelle Regenerosivitätskarte für Deutschland zu erstellen und diese mit der älteren Karte von SAUERBORN (1994; basierend auf Stationsdaten von 1960 bis 1980) zu vergleichen. Dabei ergibt sich im Mittel zwischen den betrachteten Zeiträumen für ganz Deutschland eine Zunahme der jährlichen Regenerosivität um ungefähr 66% (AUERSWALD et al. 2019). In den nächsten Jahrzehnten ist mit einer weiteren Zunahme intensiverer Niederschlagsereignisse in Europa zu rechnen (IPCC 2013). Szenarienbasierte Abschätzungen zur Regenerosivität zeigen ebenfalls zumeist eine deutliche Zunahme erosiver Niederschläge in Mitteleuropa in den nächsten Jahrzehnten (z.B. BORRELLI et al. 2020).

Ein zweiter wichtiger klimawandelbedingter Einfluss auf das Bodenerosionsgeschehen ist eine potenzielle Veränderung des Jahresgangs erosiver Niederschläge. Da Starkregen vor allem dann besonders erosionswirksam sind, wenn der Boden mehr oder weniger unbedeckt ist, führt eine Verschiebung erosiver Ereignisse in Zeiten geringer Pflanzenbedeckung zu einer deutlichen Zunahme der Erosion. Vergleicht man beispielsweise den aus Stationsdaten der Jahre zwischen ca. 1960 und 1980 abgeleiteten Jahresgang der Regen Erosivität in Deutschland (DIN 19708, 2017) mit den neueren Daten von AUERSWALD et al. (2019) (*Abb. 3.2-3*), so zeigt sich eine leichte Zunahme der Regenerosivität zwischen Mitte Oktober und Ende März. Ob diese Verschiebung nun zu einer Zunahme der Erosion führt, ist allerdings nicht ohne Weiteres vorherzusagen, da der Klimawandel und/oder generelle Veränderungen des landwirtschaftlichen Managements

auch Veränderungen des Jahresgangs der Bodenbedeckung auf Ackerflächen bedingen kann. Eine Erosionsreduktion ist durch wärmere Temperaturen im Herbst zu erwarten, da schnelleres Wachstum, von zum Beispiel Wintergetreide, zu einer früheren und höheren Bodenbedeckung über den Winter führt. Ebenso können höhere Frühjahrstemperaturen eine frühere Aussaat und schnellerer Pflanzenentwicklung von beispielsweise Mais oder Sommergetreide ermöglichen, welche damit zu einer früheren Bodenbedeckung führen. Im Gegensatz dazu können frühere Erntetermine jedoch auch Phasen unbedeckten Bodens in das Fenster häufiger auftretender erosiver Niederschläge verschieben, was eine potenzielle Erhöhung der Erosionsgefährdung bewirkt. Dabei ist jedoch immer auch zu beachten, dass der Zeitpunkt der Aussaat und Ernte von einer Vielzahl an Einflussfaktoren gesteuert wird, wie beispielsweise der bodenfeuchteabhängigen Befahrbarkeit der Ackerflächen.

Betrachtet man die phänologische Entwicklung von Ackerpflanzen in Deutschland über die letzten Jahrzehnte, zeigt sich, dass vor allem Mais zunehmend früher angepflanzt wird (Vorverlegung des Saattermins seit 1960 um ca. 3 Tage pro Jahrzehnt), während sich bei den meisten Getreidearten nur eine geringere Verschiebung ergibt (AUERSWALD & MENZEL 2021). Für Mais bedeutet dies, dass die höhere Erosionsgefahr im Frühjahr durch eine Verschiebung der Regenerosivität (*Abb. 3.2-3*) mehr als kompensiert wird. Im Gegensatz zur Aussaat änderte sich der Erntezeitpunkt bei Mais kaum (da meist Silomais angebaut wird, der auch im Herbst noch Biomasse zulegt), während die Getreideernte im Mittel 13 Tage früher stattfindet (AUERSWALD & MENZEL 2021).

Neben der Zunahme von Starkregenereignissen ist in Mitteleuropa auch mit einer Zunahme der Phasen ohne Niederschlag zu rechnen (IPCC 2013). Sind diese Trockenphasen so ausgeprägt, dass es zu Schäden an den Ackerfrüchten kommt, so kann sich dies negativ auf die Bodenbedeckung auswirken. Zudem ist nach langen Trockenphasen mit einer verminderten Infiltrationskapazität in extrem ausgetrockneten Böden zu rechnen. Dabei ist mit besonders ausgeprägten Effekten bei Trockenheit im Frühjahr und damit einhergehend langen Zeiträumen unbedeckten Bodens durch Ausfall der Ansaat zu rechnen, welche die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass ein Starkregen auf erosionsanfällige Feldzustände trifft. So konnten beispielsweise WEI et al. (2010) in einer Studie im chinesischen Lössplateau nachweisen, dass phasenweiser Trockenstress der Ackerpflanzen eine Reduktion der Bodenbedeckung bewirkte und so trotz geringerer Niederschläge wäh-

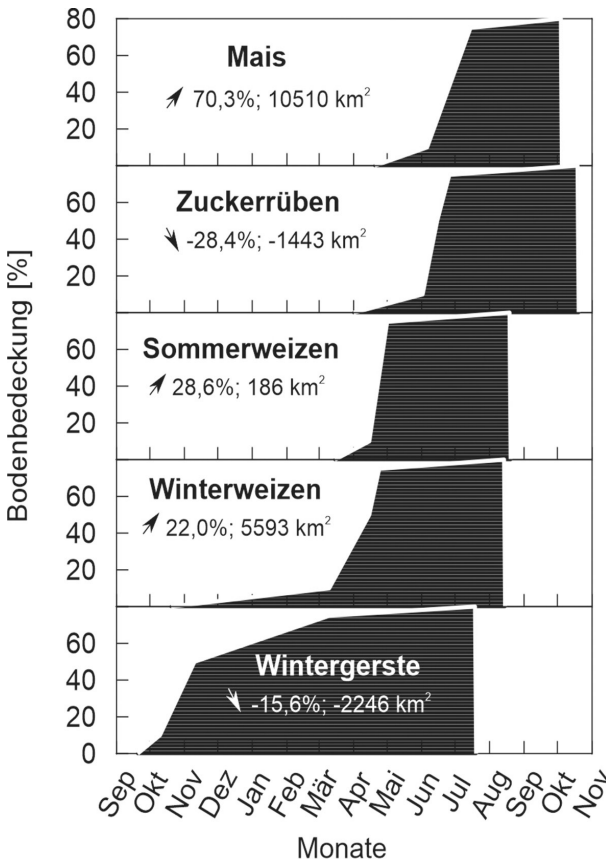


— Regenradar Daten 2001 - 2017 (Auerswald et al. 2019)  
 ▨ Stationsdaten v.a. 1960 - 1980 (DIN 2017)

**Abb. 3.2-3:** Jahresgang der Regenerosivität dargestellt als Erosionsindex aus unterschiedlichen Zeiträumen. Beide Kurven sind stark geglättet, wobei die Regenradar Daten aus flächendeckenden Rasterwerten berechnet sind (Datenquelle: AUERSWALD et al. 2019) und die in der Deutschen Industrienorm verwendeten Daten aus Stationsdaten abgeleitet sind (Datenquelle: DIN 19708, 2017).

rend der Vegetationsperiode zu insgesamt größerer Erosion bei einzelnen Niederschlägen führte. Die Häufung von Trockenphasen während der Vegetationsperiode wird bei regelmäßigen Ernteeinbußen eine Anpassung des landwirtschaftlichen Managements (Änderung der Anbaufrüchte, Bewässerung, Nutzung von Folien zum Verdunstungsschutz etc.) zur Folge haben, was für die zukünftige Erosionsentwicklung in Mitteleuropa schwer abschätzbare Auswirkungen haben wird.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass die mit dem Klimawandel einhergehende Zunahme von Starkniederschlägen zu einem deutlich höheren Erosionspotential führt. Diese Zunahme kann aber je nach Ackerfrucht, zum Beispiel durch eine frühere Aussaat auf Grund der höheren Temperaturen im Frühjahr, teilweise kompensiert werden. Unklar ist bisher, wie sich potentiell längere Trockenphasen während der Vegetationsperiode großflächig auf die Bodenbedeckung und damit Bodenerosion auswirken.



**Landmanagementwandel**

Untersucht man die Veränderung der Erosion in Agrarlandschaften Mitteleuropas über die letzten Jahrzehnte, ist nicht nur der Klimawandel zu betrachten, sondern auch die Veränderungen des Landmanagements. Wie oben bereits erläutert hängt die Bodenerosion auf Ackerflächen ganz wesentlich mit der Bodenbedeckung zusammen und diese wiederum steht in sehr engem Zusammenhang mit der gewählten Fruchtfolge. Betrachtet man *Abb. 3.2-3* und *-4* wird schnell klar, wo die wesentlichen Unterschiede im Erosionspotential zwischen einzelnen Ackerfrüchten liegen. Welche Früchte primär angepflanzt werden, ist aber oftmals weniger vom Klima abhängig als von den politischen und ökonomischen Rahmenbe-

**Abb. 3.2-4:** Typische Entwicklung der Bodenbedeckung durch verschiedene Ackerfrüchte in Mitteleuropa (Daten aus SCHWERTMANN et al. (1990)); Prozent- und Absolutwerte (km<sup>2</sup>) geben die mittlere Ab- bzw. Zunahme der Anbaufläche der jeweiligen Ackerfrüchte in der BRD zwischen den Zeiträumen 1991-2000 und 2012-2017 an (DESTATIS 2021).

dingungen der Landwirtschaft. Ein typisches Beispiel, wie durch veränderte politische Rahmenbedingungen die Bodenerosion nachhaltig beeinflusst wurde, zeigt sich in der Förderung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen seit den 2000er Jahren (KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ 2002). Dies führte zu einer Zunahme des Maisanbaus (Abb. 3.2-4), wobei teilweise ehemaliges Grünland umgebrochen wurde. Da Mais aber durch die späte Aussaat erst relativ spät im Frühjahr zu einer ausreichenden Bodenbedeckung führt (Abb. 3.2-4), hatte dies vor allem im Frühjahr einen negativen Einfluss auf das Erosionsgeschehen.

Fruchtfolgen, welche die Bodenbedeckung über einen längst möglichen Zeitraum aufrechterhalten, sind eine effiziente Maßnahme die Wahrscheinlichkeit zu reduzieren, dass ein Starkregen auf unbedeckten Boden trifft. Zudem bieten sich Zwischenfrüchte oder teilweise Untersaaten an, um die Bodenbedeckung ganzjährig zu erhöhen. Eine deutliche Erosionsreduktion ist auch durch eine angepasste Bodenbearbeitung in Form von nicht wendender, pflugloser Bodenbearbeitung sowie in noch größerem Ausmaß durch Direktsaat (ohne Grundbodenbearbeitung) zu erzielen. Diese Form der Bearbeitung erhält die stabilisierende Bodenstruktur und es verbleiben abgestorbene Pflanzenreste auf der Bodenoberfläche, welche zusätzlich die Erosionsanfälligkeit herabsetzen. So haben zahlreiche Studien (z.B. PRASUHN 2012) gezeigt, dass sich die Erosion durch Direktsaat auf Europäischen Ackerflächen um eine Größenordnung reduzieren lässt. Der Flächenanteil nicht wendender Bodenbearbeitung auf Ackerflächen in Deutschland lag 2016 bei 42%, wobei Direktsaat auf weniger als 1% der Flächen praktiziert wurde (DESTATIS 2017).

Die Auswirkungen des landwirtschaftlichen Managements auf die Bodenerosion können grundsätzlich in zwei Bereiche unterteilt werden: (i) Veränderungen auf landwirtschaftlichen Flächen (Fruchtfolgen, Maschineneinsatz, Bodenschutzmaßnahmen etc.), die direkt die Erosion auf diesen Flächen beeinflussen (onsite Effekte) und (ii) Maßnahmen im Kontext des Landmanagements, die sich auf die hydrologische und sedimentologische Konnektivität dieser Landschaften auswirken (offsite Effekte). Unter Konnektivität versteht man in diesem Zusammenhang die Durchgängigkeit von Landschaften hinsichtlich des Oberflächenabflusses und des Sedimenttransportes in benachbarte Ökosysteme, zum Beispiel Oberflächengewässer. Maßnahmen zur Reduktion der Agrarlandschaftskonnektivität können das gezielte Anlegen von Flächen mit einer höheren Rauigkeit sein, welche erhöhte Sedimentation bewirken. Solche Strukturen können beispiels-

weise Grasfilterstreifen an Feldrändern oder begrünte Tiefenlinien sein, welche die Bereiche der Abflusskonzentration eines Feldes (potenziell am stärksten von der Erosion betroffen) aus der Nutzung nehmen und in Grasland umwandeln. Vor allem begrünte Tiefenlinien sind hocheffizient im Sedimentrückhalt. So konnte beispielsweise in einer Studie von FIENER & AUERSWALD (2006) gezeigt werden, dass in Kleineinzugsgebieten (ca. 10 ha) mehr als 77% des Sediments durch die Etablierung einer begrünten Tiefenlinie zurückgehalten wurde. Neben den flächenspezifischen Maßnahmen sind die landschaftsskalige Flurgestaltung und Entwässerungsinfrastruktur von großer Bedeutung für die Konnektivität (z.B. BATISTA et al. 2021). Eine kleinparzellierte Flurgestaltung mit unterschiedlichen oder versetzten Fruchtfolgen unterbricht dabei Abflusswege geringer Rauigkeit und reduziert damit maßgeblich die Durchgängigkeit (WAINWRIGHT et al. 2011). Die aktuelle Entwicklung des landwirtschaftlichen Managements zeigt jedoch eine Zunahme der Betriebsgrößen in vielen Regionen Mitteleuropas (Beispiel Deutschland: durchschnittliche Betriebsgröße in 1991: 39 ha, 2016: 67 ha; BMEL 2021). Einhergehend mit größeren landwirtschaftlichen Betrieben sind meist Schlagzusammenführungen zum Zweck größerer und damit effizienter zu bearbeitender Felder (Folge: Erhöhung der Konnektivität) sowie der Einsatz von leistungsfähigeren und schwereren landwirtschaftlichen Maschinen. Bodenbearbeitung, vor allem mit schwerem Gerät, führt dabei zur Bodenverdichtung und Ausprägung einer wasserstauenden Pflugsohle. Diese reduziert die Infiltrationsrate in den Boden, was eine verstärkte Oberflächenabflussbildung und damit einhergehend erhöhte Bodenerosion zur Folge hat.

Insgesamt hat der Landmanagementwandel der letzten Jahrzehnte, vor allem in Gebieten mit vermehrtem Maisanbau und vermehrter Zusammenlegung von Feldschlägen zu größeren Einheiten (Erhöhung der Konnektivität durch Beseitigung von Feldrandstreifen etc.), zu einer Zunahme des Erosionspotentials geführt. Generelle Aussagen für Deutschland oder Mitteleuropa sind hier allerdings schwierig, da in einzelnen Gebieten Bodenschutzmaßnahmen umgesetzt wurden oder auf weniger ertragreichen Standorten die Bewirtschaftung verändert oder angepasst wurde.

**Fazit:** Fasst man die Auswirkungen von Klima- und Landmanagementwandel auf die Erosion in Mitteleuropa zusammen, so lässt sich die eindeutige Aussage treffen, dass eine klimawandelbedingte Zunahme der Regenerosivität stattfindet. Wie sich temperaturbedingte Veränderungen der Vegetationsperiode von Ackerpflanzen auswirken, ist hingegen schwerer

zu quantifizieren. Dies liegt vor allem daran, dass das landwirtschaftliche Management ein ständiger Optimierungsprozess ist, der einerseits nur bedingt durch sich ändernde Klimaverhältnisse gesteuert wird und der andererseits Anpassungen an sich verlängernde Vegetationsperioden und/oder häufigeren Trockenstresses vornehmen kann. Insgesamt besteht großes Potential, durch geeignetes landwirtschaftliches Management (Optimierung der Bodenbedeckung und der Infiltrationskapazität sowie Vermeidung von Bodenverdichtung durch angepasste Maschinen, in Kombination mit einer Reduktion der hydrologischen bzw. sedimentologischen Konnektivität auf Landschaftsebene) die Erosionsgefährdung auch unter Bedingungen des Klimawandels zu reduzieren. Die Entwicklung der Landnutzung und des Landmanagements der letzten Jahrzehnte zeigen bezüglich des Erosionsschutzes allerdings großen Handlungsbedarf auf.

## Referenzen

- AUERSWALD, K., F. K. FISCHER, T. WINTERRATH & R. BRANDHUBER (2019): Rain erosivity map for Germany derived from contiguous radar rain data. *Hydrology and Earth System Sciences* 23, 1819-1832.
- AUERSWALD, K., G. GERL & M. KAINZ (2006): Influence of cropping system on harvest erosion under potato. *Soil & Tillage Research* 89, 22-34.
- AUERSWALD, K. & A. MENZEL (2021): Change in erosion potential of crops due to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 300, doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108338.
- BATISTA, P., P. FIENER, S. SCHEPER & C. ALEWELL (2021): A conceptual model-based sediment connectivity assessment for patchy agricultural catchments. *Hydrology and Earth System Sciences Discussion*. doi.org/10.5194/hess-2021-231.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2021): Entwicklung der Betriebsstruktur landwirtschaftlicher Betriebe ab 5 ha LF in Deutschland. <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/landwirtschaftliche-betriebe/?L=0> (letzter Aufruf 06.09.2021).
- BORRELLI, P., D. A. ROBINSON, P. PANAGOS, E. LUGATO et al. (2020): Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117, 21994-22001.
- DESTATIS (2021) Anbaufläche (Feldfrüchte und Grünland): Deutschland, Jahre, Fruchtarten, Wiesbaden, Germany, <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=41241-0001&byypass=true&levelindex=1&levelid=1626847204889#breadcrumb> (letzter Aufruf 06.09.2021).
- DESTATIS (2019) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei - Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung, Wiesbaden, Germany, Statistisches Bundesamt.
- DESTATIS (2017): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei - Bodenbearbeitung, Erosionsschutz, Fruchtwechsel / Agrarstrukturerehebung 2016, Wiesbaden, Germany, Statistisches Bundesamt.
- DEUMLICH, D., R. FUNK, M. FRIELINGHAUS, W.-A. SCHMIDT & O. NITZSCHE (2006): Basics of effective erosion control in German agriculture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169, 370-381. <https://doi.org/10.1002/jpln.200621983>
- DEUMLICH, D. & A. GERICKE (2020): Frequency trend analysis of heavy rainfall days for Germany. *Water* 12. doi.org/10.3390/w12071950
- DIN 19708 (2017): Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. Beuth Verlag, Berlin.
- FIENER, P. & K. AUERSWALD (2006): Seasonal variation of grassed waterway effectiveness in reducing runoff and sediment delivery from agricultural watersheds in temperate Europe. *Soil & Tillage Research* 87, 48-58.
- FIENER, P., P. NEUHAUS & J. BOTSCHKE (2013): Long-term trends in rainfall erosivity - analysis of high resolution precipitation time series (1937-2007) from Western Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 171-172, 115-123.
- FUNK, R., H. I. REUTER, C. HOFFMANN, W. ENGEL & D. ÖTTL (2008): Effect of moisture on fine dust emission from tillage operations on agricultural soils. *Earth Surface Processes and Landforms* 33, 12, 1851-1863.
- IPCC (2013): *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ (2002): Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme- Kopplung. [https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/sites/default/files/private/active/0/kwkg\\_061031.pdf](https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/sites/default/files/private/active/0/kwkg_061031.pdf) (letzter Aufruf 06.09.2021).
- PRASUHN, V. (2012): On-farm effects of tillage and crops on soil erosion measured over 10 years in Switzerland: Soil & Tillage Research 120, 137-146.
- QUINTON, J. N., G. GOVERS, K. VAN OOST & R. D. BARDGETT (2010): The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience* 3, 311-314.
- SAUERBORN, P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland - Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. Institut für Bodenkunde, Bonn, p. 189.
- SCHWERTMANN, U., W. VOGL & M. KAINZ (1990): Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- VERSTRAETEN, G., J. POESEN, G. DEMARÉE & C. SALLES (2006): Long-term (10<sup>5</sup> years) variability in rain erosivity as derived from 10-min rainfall depth data for Ukkel (Brussels, Belgium): Implications for assessing soil erosion rates. *Journal of Geophysical Research* 111, D22109.
- WAINWRIGHT, J., L. TURNBULL, T. G. IBRAHIM, I. LEX-ARTZA-ARTZA et al. (2011): Linking environmental regimes, space and time: Interpretations of structural and functional connectivity. *Geomorphology* 126, 387-404.
- WEI, W., L. D. CHEN, B. J. FU & J. CHEN (2010): Water erosion response to rainfall and land use in different drought-level years in a loess hilly area of China. *Catena* 81, 24-31.

## Kontakt:

Prof. Dr. Peter Fiener  
 Dr. Florian Wilken  
 Institut für Geographie  
 Universität Augsburg  
[peter.fiener@geo.uni-augsburg.de](mailto:peter.fiener@geo.uni-augsburg.de)

FIENER, P. & F. WILKEN (2021): Bodenerosion in Mitteleuropa – Auswirkungen des Klima- und Landmanagementwandels. In: LOZÁN J. L., S.-W. BRECKLE, H. GRAßL, D. KASANG (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Boden & Landnutzung*. S. 94-100. [www.warnsignal-klima.de](http://www.warnsignal-klima.de). DOI:10.25592/warnsignal.klima.boden-landnutzung.13