

Bodenerosion durch Wind

Sachstand und Handlungsempfehlungen
zur Gefahrenabwehr

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Fachgebiet II 2.7
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Autoren:

Dr. Daniel Wurbs (Geoflux GbR Halle)
Dr. Michael Steininger (Mitteldeutsches Institut für ange-
wandte Standortkunde und Bodenschutz Halle)

Redaktion:

Frank Glante (Umweltbundesamt)
Daniel Wurbs, Michael Steininger

Gestaltung und Druck:

Druck-Zuck GmbH
Seebener Straße 4, 06114 Halle
www.druck-zuck.net

gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier

Publikationen als pdf:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

Bildquellen:

Titelbild: © Tobias Nordhausen
S. 7: © Henrik Helbig

Stand: März 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 371371231 gefördert.

Bodenerosion durch Wind

**Sachstand und Handlungsempfehlungen
zur Gefahrenabwehr**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung des Merkblattes	5
2	Sachstand Winderosion	6
2.1	Prozess und Einflussfaktoren der Winderosion	6
2.2	Folgen und Schäden durch Winderosion	7
2.3	Verfahren und Modelle zur Abschätzung der Winderosionsgefährdung	7
3	Darstellung der gegenwärtigen Winderosionsgefährdung in Deutschland	9
4	Winderosionsgefährdung im Zuge des Klimawandels	18
4.1	Modellansatz und Szenarienauswahl	18
4.2	Entwicklung der natürlichen Erosionsgefährdung durch Wind	20
4.3	Szenarien für die fruchtartenabhängige Entwicklung der Erosionsgefährdung durch Wind	20
5	Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zur Vorsorge und Gefahrenabwehr gegen Erosion durch Wind	27
5.1	Rechtliche und fachliche Grundlagen für die Erosionsbewertung	27
5.2	Katalog und Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung pflanzenbaulicher, landeskultureller und agrarstruktureller Maßnahmen	27
6	Literatur	33
	Abbildungsverzeichnis	35
	Tabellenverzeichnis	36
	Abkürzungsverzeichnis	36

1 Einleitung und Zielsetzung des Merkblattes

Der Boden ist die Lebensgrundlage der Menschen für die Gegenwart und die Zukunft. Er ist der wertvollste Bodenschatz und eine wichtige, nicht vermehrbare Ressource, die weltweit, aber auch in Deutschland durch Übernutzung und Versiegelung qualitativ und quantitativ gefährdet ist.

Innerhalb des Natur- und Landschaftshaushaltes erfüllt der Boden vielfältige Funktionen. Atmosphäre, Pflanzen, Tiere, Grundwasser und Gestein treffen hier aufeinander und sind durch eine Vielzahl komplexer Wechselwirkungen und Austauschprozesse miteinander verbunden. Der Boden ist Wasserspeicher und Schadstofffilter. Er bietet Lebensraum für unzählige Bodenlebewesen, ist Kohlenstoffspeicher sowie globaler Klimafaktor. Als Pflanzenstandort ist der Boden Grundlage zur Erzeugung von Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen. Für die Landwirtschaft ist er das wichtigste Produktionsinstrument. Der Schutz des Bodens muss daher auch in Zukunft unter den sich ändernden Rahmenbedingungen, insbesondere dem Klimawandel, oberste Priorität haben.

Zwischen Boden, den im Boden ablaufenden Prozessen und dem Klima bestehen komplexe Wechselbeziehungen mit teilweise sich verstärkenden Rückkopplungseffekten. Klimaänderungen beeinflussen den Boden, veränderte Bodenverhältnisse beeinflussen das Klima. Der Boden ist vom Klimawandel betroffen und Bodenschutz kann und muss auch Teil der Lösung des Klimaproblems sein. Jedoch ist die Rolle des Bodens im Kontext der Diskussion zum Klimawandel der breiten Öffentlichkeit und vielen Entscheidungsträgern nicht oder nicht hinreichend bewusst.

Bodenverlagerungen durch Wind- und Wassererosion haben neben Schäden durch Bodenverdichtung und der Verringerung der Humusvorräte im Boden die größten Auswirkungen auf die Ertragsfunktion der Böden, beeinflussen jedoch auch die übrigen Bodenfunktionen maßgeblich. Wind- und Wassererosion sind natürliche Prozesse, die durch die anthropogene Nutzung von Flächen beeinflusst werden und als auslösendes Moment extremer Witterungselemente, wie Starkregen oder Starkwinde, bedürfen. Sie sind demzufolge vom Klimawandel doppelt beeinflusst, einerseits durch die sich ändernden Bodensysteme und andererseits direkt durch die Klimaänderung. Neben den bereits aktuell

erkennbaren Gefährdungen und Risiken ist mit der im Zuge der Klimaveränderung zu erwartenden Häufung der Starkwinde sowie mit der Veränderung der Bodenfeuchteverhältnisse eine Zunahme des Gefährdungspotenzials für die landwirtschaftlich genutzten Böden zu erwarten und es sind frühzeitig Gegenmaßnahmen zu ergreifen (UBA 2011).

Während Wassererosion vornehmlich auf stark geeigneten Standorten auftritt, ist die Winderosion auf mittleren und leichten Tieflandstandorten im Norden Deutschlands ein großes Gefährdungsrisiko für die Funktion der Böden, aber auch infolge von Organbeschädigung durch Windschliff oder die komplette Abdeckung der Pflanzen direkt für die landwirtschaftlichen Kulturen. Darüber hinaus wächst das gesellschaftliche Schadensausmaß aufgrund von winderosionsbedingten Off-site-Schäden. Messungen zeigen, dass auf unbedeckten Ackerflächen bis zu 45 t*ha^{-1} fruchtbarer Oberboden jährlich durch Winderosion abgetragen werden können (Funk 2015), was ähnlichen Größenordnungen wie beim wassererosionsbedingten Bodenabtrag entspricht. Somit besteht Handlungsbedarf sowohl im Hinblick auf den Vorsorgegrundsatz nach § 7 BBodSchG als auch hinsichtlich der Regelungsdefizite des untergesetzlichen Regelwerkes zur Gefahrenabwehr. Insbesondere aus Sicht der langfristigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und der Gefahrenabwehr für die Allgemeinheit sind zukünftig geeignete Gegenmaßnahmen im gesamtgesellschaftlichen Rahmen zu ergreifen.

Im vorliegenden Merkblatt **„Bodenerosion durch Wind – Sachstand und Handlungsempfehlungen zur Gefahrenabwehr“** werden wesentliche Erkenntnisse aus einem Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes (UBA) zum Thema „Bundesweite Gefährdung der Böden durch Winderosion und Bewertung der Veränderung infolge des Wandels klimatischer Steuergrößen als Grundlage zur Weiterentwicklung der Vorsorge und Gefahrenabwehr im Bodenschutzrecht“ (UBA-Texte 13/2017) zusammengefasst. Das Merkblatt richtet sich vor allem an Fachvertreter aus Vollzug, Beratung und Praxis, mit dem Ziel, Kriterien und Empfehlungen nach BBodSchG und BBodSchV öffentlich verfügbar zu machen. In diesem Merkblatt werden der gegenwärtige Sachstand zum Thema Winderosion zusammengefasst und Maßnahmen zur Vorsorge und Vermeidung von schadhaften Bodenveränderungen durch Winderosion,

die auf Grundlage vorliegender Regeln, wissenschaftlicher Erkenntnisse und Vorschlägen der Bundesländer erarbeitet wurden, beschrieben. Neben der Darstellung

der heutigen bundesweiten Winderosionsgefährdung werden mögliche Tendenzen der zukünftigen Entwicklung der Winderosion bis zum Jahr 2100 aufgezeigt.

2 Sachstand Winderosion

2.1 Prozess und Einflussfaktoren der Winderosion

Bei der Winderosion handelt es sich um einen natürlichen Prozess des äolischen Abtrages und der Verlagerung von Bodenmaterial, der durch die menschliche Tätigkeit beeinflusst wird.

Auslöser der Bodenerosion durch Wind (Deflation; kurz Winderosion) sind Winde, die ab einer bestimmten Geschwindigkeit Turbulenzen an der Bodenoberfläche erzeugen und Bodenteilchen zur Bewegung bringen. Kollidieren diese wiederum mit ruhenden Bodenteilchen am Boden, können diese zerschlagen und/oder in die turbulente Zone geschleudert werden und so durch eine Kettenreaktion diesen Prozess fortsetzen.

Je nach Windgeschwindigkeit und Größe der Bodenteilchen erfolgt die Bewegung der Partikel durch drei unterschiedliche Formen. Durch die **Suspension** (Schweben) können kleine Bodenteilchen mit einem Durchmesser $< 0,1$ mm in große Höhen aufgewirbelt und über teils große Entfernungen von mehreren einhundert Kilometern transportiert werden. Diese Form der Winderosion ist für den Menschen besonders gefährlich, da große, dichte Staubwolken zu Sichtbehinderungen und möglichen Schäden führen können. Zusätzlich werden die fruchtbarsten Bestandteile des Bodens, wie Schluff- und Tonminerale, Humus und Pflanzennährstoffe meist über den Ackerschlag hinaus transportiert und können am Ablagerungsort wiederum Schäden in Form von Pflanzenüberdeckung und Blattschliff erzeugen (vgl. Abbildung 1). Am Ausblasungsort bleiben nur die groben, humusarmen Bodenteilchen zurück, was zu einer deutlichen Verringerung der Bodenfruchtbarkeit führt.

Durch **Saltation** (Springen) bewegen sich vorwiegend Bodenteilchen mit einem Durchmesser von $> 0,1$ bis $0,5$ mm Durchmesser in Sprunghöhen zwischen $0,1$ und 1 m über den Boden. **Reptation** (Rollen/Kriechen) beschreibt die Bewegung größerer Bodenteilchen ($> 0,5$ mm Durchmesser) an der Oberfläche, die durch Winddruck oder durch Kollision ausgelöst wird. Im Gegensatz zur Suspension bewegen sich Bodenteilchen durch Saltation und Reptation in der Regel nur im Be-

reich des Ackerschlages und lagern sich im Bereich von Windhindernissen ab.

Das Ausmaß der Winderosion wird von den **Wirkfaktoren** Klima und Hydrologie, Erodierbarkeit des Bodens, Landschafts- und Agrarstruktur, Landbewirtschaftung und dem Vorhandensein von Schutzmaßnahmen bestimmt. Dabei können die einzelnen Wirkfaktoren zum Teil Summenparameter aus verschiedenen Einflussgrößen sein. Von den Klimaelementen ist die **Windgeschwindigkeit** der auslösende Faktor für die Winderosion. In Abhängigkeit von der Größe der Bodenteilchen steigt das Erosionsrisiko ab Windgeschwindigkeiten von $> 4,5$ m/s an der Bodenoberfläche stark an. Die **Windrichtung** ist für die Schutzwirkung von Hindernissen von Bedeutung, da in deren Lee-Bereichen der Bodenabtrag bis in eine Entfernung vom 25-fachen der Höhe der Windhindernisse vermindert ist. Weiterhin bedeutend ist infolge der hohen Kohäsionskräfte des Wassers die **Feuchte an der Bodenoberfläche**. Die Abtragsgefährdung steigt mit zunehmender Trockenheit. In Abhängigkeit von der Größe der Bodenteilchen an der Bodenoberfläche, die sich im Wesentlichen aus der Bodenart, dem Humusgehalt sowie dem Bodengefüge ergibt, unterliegen Böden einer unterschiedlichen **Empfindlichkeit** gegenüber der Winderosion. Sandböden mit ihrem Einzelkorngefüge und geringem Gehalt an organischer Substanz sind gefährdeter als Tonböden, die zwar von der Korngröße her kleiner sind, jedoch in der Regel sehr große verkittete Aggregate/Bodenteilchen aufweisen.

Ein wichtiges Kriterium für die Winderosionsgefährdung ist die Windoffenheit, die durch die **Landschafts- und Agrarstruktur** bestimmt wird. Im Lee- und Luv-Bereich von Windschutzelementen kommt es zum Absinken der Windgeschwindigkeit und somit zur Abnahme des Abtragsrisikos. Zusätzlich sind **Bodenbedeckung** und **Nutzungswechsel** entscheidende Elemente, die die Winderosionsgefährdung beeinflussen. Geschlossene Bodenbedeckungen verhindern die Angriffsmöglichkeiten des Windes auf die Bodenteilchen und vermindern so das Abtragsrisiko. Kleinräumige Nutzungswechsel verringern die Turbulenzen in Bodennähe. Als **Schutzmaßnahmen** zur Minderung des Schadensrisikos durch Winderosion

Am Ackerrand akkumulierter Lössboden



© Foto: Helbig 2011

sind in erster Linie die Erhöhung der Bodenbedeckung sowie die Verringerung der Windoffenheit in der Agrarlandschaft zu nennen. Eine wirksame Maßnahme hierzu sind netzartig angelegte Windschutzpflanzungen. Neben den klassischen Windschutzpflanzungen kommen vermehrt auch Agroforstsysteme zum Einsatz.

2.2 Folgen und Schäden durch Winderosion

Bei den Folgen der Winderosion ist in onsite- und offsite-Schäden zu unterscheiden. Während onsite-Schäden ausschließlich das System Boden betreffen sowie Abrasionseffekte an Pflanzen hervorrufen, sind vielfältige offsite-Schäden, zum Teil auch mit einem direkten Gefährdungspotenzial für die Menschen, zu beobachten. Ein Überblick der wesentlichen on- und offsite-Schäden ist Tabelle 1 zu entnehmen.

2.3 Verfahren und Modelle zur Abschätzung der Winderosionsgefährdung

Im Gegensatz zur Wassererosion, für die mit der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) für Deutsch-

land eine praxistaugliche Gleichung zur Berechnung und Bewertung des Bodenabtrags vorliegt (Schwertmann u. a. 1990), wird die Winderosionsgefährdung in Deutschland gegenwärtig über das matrixbasierte Expertensystem nach **DIN 19706:2013-02** eingestuft, welches nur Gefährdungsstufen, jedoch keine Abtragungsmengen ausweist. Die DIN 19706:2013-02 verknüpft die Einflussgrößen „Bodenerodierbarkeit“, „Erosivität des Windes“, „Schutzwirkung von Windhindernissen“ und „Schutzwirkungsstufen von Bewirtschaftungsmaßnahmen“ (Abbildung 2). Obwohl der Parametrisierungs- und Berechnungsaufwand auf Bundes- oder Länderebene, vor allem bei Einbindung der Windhindernisse, sehr aufwendig ist, bietet das DIN-Verfahren die Möglichkeit, auf digital verfügbare Datengrundlagen zurückzugreifen. Im Ergebnis lässt sich ein qualitativer Horizontalvergleich der Erosionsgefährdung zwischen Raumeinheiten und Standorten vornehmen. Eine stoffliche und somit quantitative Bilanzierung ist hingegen nicht möglich. Auch für die Bewertung der klimaabhängigen Entwicklung der Winderosionsgefährdung kann der DIN-Ansatz nur bedingt herangezogen werden, da er ausschließlich die mittlere Windgeschwindigkeit als

Tabelle 1:

On- und offsite Effekte der Winderosion

Effekt	Schädigung
Onsite-Effekte	<p>System Boden</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auswehung von Feinboden • Anreicherung größerer Korngrößen im Auswehungsbereich • Auswehung organischer Substanz • Abnahme der Wasserkapazität des Oberbodens • Schädigung der Bodenstruktur • Förderung der Oberbodenversauerung <p>Schäden durch Abrasion</p> <ul style="list-style-type: none"> • Windschliff an Pflanzen • Infektion von Nutzpflanzen durch Einwehung von an Bodenpartikeln anhaftenden Krankheitserregern • Förderung der Staubfreisetzung
Offsite-Effekte	<p>Kurzfristige Wirkungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deposition von Feinboden • Einträge von Sedimenten, Nähr- und Schadstoffen in sensible Ökosysteme • Abnahme der Sichtweite, Gefährdung des Verkehrs • Sedimenteintrag in Gebäude, technische Anlagen und Infrastruktur <p>Langfristige Wirkungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme der mit dem Wind transportierten Partikel, insbesondere Feinstaub durch Mensch und Tier • Atemwegserkrankungen • Anreicherung von nicht oder schwer abbaubaren Stoffen • Gewässereutrophierung • Eutrophierung nährstoffarmer Ökosysteme
Onsite- und Offsite-Effekte	<ul style="list-style-type: none"> • Akkumulation von Bodenmaterial geringer Qualität • Substratablagerung an und in Feldgrenzen und Windhindernissen • Überdeckung von Pflanzen mit Bodenmaterial • Verlust von Saatgut und Jungpflanzen

Quelle: Duttman u.a. (2011) - verändert

Klimasignal, nicht aber Starkwinde und Bodenfeuchte ausweist.

Das DIN-Verfahren wird für die Berechnung der potenziellen Winderosionsgefährdung nach Cross-Compliance angewendet (Schäfer u.a. 2010; AK EROSION 2008) und ist somit in der Bundesrepublik Deutschland flächendeckend auf Länderebene im Einsatz.

Neben der DIN 19706:2013-02 gibt es eine Reihe empirischer, dynamischer und semidynamischer Modelle, mit denen entweder Erosionsgefährdungsstufen ausgewiesen oder Bodenabträge ermittelt werden können. Die größte Einschränkung in Hinblick auf großräumige

Anwendungen besteht bei den meisten Modellen im erheblichen Daten- und Parametrisierungsbedarf. Hierfür sind zumeist Feldmessungen erforderlich, die eine Übertragbarkeit von der lokalen auf die mittel- und kleinmaßstäbige Ebene mangels fehlender Validierungsmöglichkeiten oftmals nicht zulassen. Außerdem wurden viele Modelle unter nordamerikanischen Boden- und Klimabedingungen entwickelt. Hierzu zählen vor allem die „Wind Erosion Equation“ (**WEQ**; Woodruff and Siddoway 1965) sowie die Modelle **WEPS** (Hagen 2004) und **WEAM** (Lu and Shao 2000).

Weitere Modellansätze, die für mitteleuropäische Verhältnisse entwickelt oder an diese angepasst wurden

Abbildung 2:

Fließschema zur Ermittlung der Erosionsgefährdung durch Wind nach DIN 19706:2013-02 und Cross-Compliance-Vorgaben (AK EROSION 2008)



und somit als potenziell in Deutschland anwendbare Methoden infrage kommen, sind die VERMOST-Methode (Thiere u.a. 1991) sowie die Modelle WEELS (Böhner 2003) und RWEQ (Fryrear et al. 2000). Die **VERMOST**-Methode (VERgleichsMethOdeSTandort - Thiere u.a. 1991) wurde zur Umsetzung der Ergebnisse der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) erarbeitet, die flächendeckend allerdings nur für das Gebiet der neuen Bundesländer vorliegt. Bei diesem Verfahren lassen sich auf der Grundlage definierter Kombinationen verschiedener Boden- und Standortmerkmale von bestimmten Flächenarealen eine Reihe von Beurteilungsparametern, so auch die Winderosionsgefährdung, ermitteln. Eine quantitative Abschätzung von Abtragungsmengen wird hingegen nicht vorgenommen. Ebenso wird die Erosionsgefährdung unter Einbindung von Windhindernissen nicht betrachtet. **WEELS** (Wind Erosion on

European Light Soils) wurde als hierarchisches Modell mit Einzelmodulen konzipiert, um die Winderosion auf verschiedenen zeitlichen und räumlichen Skalen zu modellieren. Das Modell simuliert rasterbasiert Abtrags- und Ablagerungsbilanzen in $t \cdot ha^{-1}$. Das Erosionsmodell **RWEQ** basiert auf dem Modell WEQ und wurde durch Fryrear et al. (2000) weiterentwickelt. Es kombiniert empirische und prozessbasierte (dynamische) Modellansätze. Im Gegensatz zu anderen Winderosionsmodellen ist der Gleichungsansatz der RWEQ vergleichsweise einfach und erfordert eine begrenzte Anzahl an Eingangsdaten, was die Anwendbarkeit des Modells in der mittelmaßstäbigen Ebene ermöglicht (Youssef et al. 2012). RWEQ liefert einen mengenmäßigen Abtragungswert je Flächeneinheit für definierte Zeitabschnitte. Großräumig kam das Modell u.a. durch Funk und Voelker (1998) sowie Borelli et al. (2016) zum Einsatz.

3 Darstellung der gegenwärtigen Winderosionsgefährdung in Deutschland

Als Modellansatz, mit dem die Winderosionsgefährdung deutschlandweit ermittelt werden kann, existiert gegenwärtig nur das Verfahren nach DIN 19706:2013-02. Für die Berechnung der Winderosionsgefährdung nach Cross-Compliance kommt es unter Verwendung länderspezifischer Eingangsdaten auf Bundeslandebene zum Einsatz. Die Darstellung der Winderosionsgefährdung in Deutschland erfolgte nach dem DIN-Ansatz für

die natürliche, die potenzielle sowie die bewirtschaftungsbezogene Erosionsgefährdung. Eine ausführliche Dokumentation zu Datengrundlagen, methodischer Vorgehensweise, Ergebnissen und Einschränkungen des gewählten Ansatzes ist den UBA-Texten 13/2017 (Wurbs und Steininger 2017) zu entnehmen. Die Ergebnisse und Kartendarstellungen stellen das Erosionsrisiko auf ackerbaulich genutzten Flächen als Übersicht

Abbildung 3:

Natürliche Erosionsgefährdung durch Wind auf ackerbaulich genutzten Böden



Natürliche Erosionsgefährdung

sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	keine	keine ackerbauliche Nutzung

Methodischer Ansatz:
 DIN 19706:2013-02 - Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wind

Verwendete Datengrundlagen:
 Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BÜK1000N) - BGR
 Digitales Basis-Landschaftsmodell (ATKIS Basis-DLM) - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit 1981-2000 in 10m Höhe - Deutscher Wetterdienst (DWD)
 Geobasisdaten: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Inhaltliche Bearbeitung und kartographische Umsetzung: D. Wurbs (geoflux) M. Steininger (MISB)

UFOPLAN 2013 – FKZ 371371231

im kleinmaßstäbigen Bereich auf Bundesebene dar. Rückschlüsse auf die tatsächliche Bodenerosion durch Wind auf einzelnen Flächen können maßstabs-, modell- und datenbedingt nicht gezogen werden. Hierzu sind parzellenbezogene Felduntersuchungen oder detaillierte Modellanwendungen erforderlich.

Die **natürliche Erosionsgefährdung** durch Wind verknüpft die Stufen der Erodierbarkeit des Oberbodens mit den Erosivitätsstufen des Windes. Auf Grundlage der nutzungsabhängigen Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BÜK 1000N) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) wurde die Bewertung der **Erodierbarkeit des Oberbodens** aus der Bodenart des Oberbodens und der Humusgehaltsstufe nach KA5 (Ad-Hoc-AG Boden 2005) vorgenommen. Insbesondere die Vergesellschaftung in den Bodeneinheiten der BÜK 1000N führt zu einer räumlichen Nivellierung bei der Abschätzung des Bodenerosionsrisikos. Eine qualitative Verbesserung kann diesbezüglich nach Fertigstellung der deutschlandweit verfügbaren Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) erwartet werden. Die Abschätzung der **Erosivität des Windes** basiert auf der Klassifizierung der Windgeschwindigkeiten, die anhand der Karte der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten ($m*s^{-1}$) im 200*200 m-Raster des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ermittelt wurden. Die Daten repräsentieren den Zeitraum 1981 bis 2000.

Bedingt durch die hohen Windgeschwindigkeiten und die Erodibilität der zumeist sandigen Böden weisen die ackerbaulich genutzten Flächen im Norddeutschen Tiefland, in Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen vorwiegend mittlere Gefährdungsstufen auf. Flächen mit hoher bis sehr hoher Gefährdung befinden sich in größeren Ausschnitten vor allem in Schleswig-

Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und im westlichen Niedersachsen.

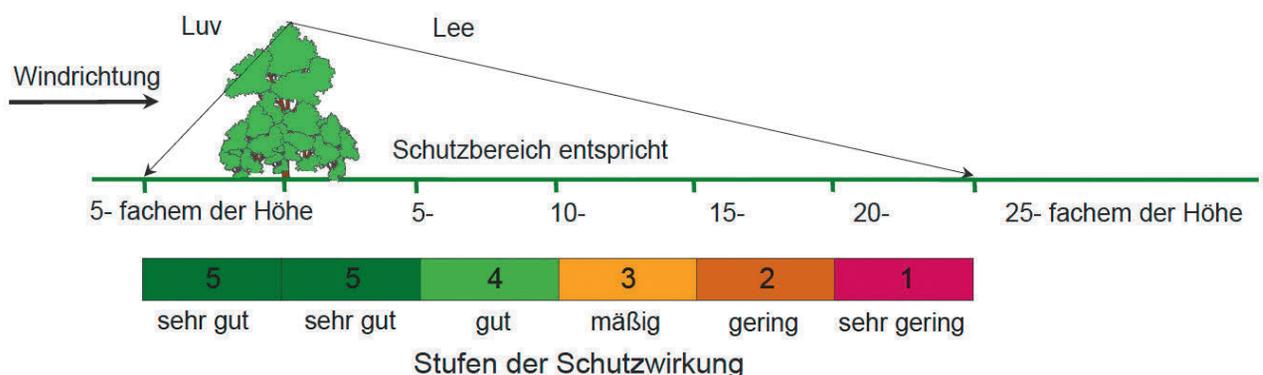
Die **potenzielle Erosionsgefährdung** verknüpft die natürliche Erosionsgefährdung durch Wind mit den **Schutzwirkungsstufen an Windhindernissen**. Diese basieren auf den Häufigkeiten der acht Hauptwindrichtungen in den Monaten Februar bis Mai (AK EROSION 2008), die anhand der Stärkewindrosen für 85 verfügbare Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) bestimmt wurden. In großen Teilen Deutschlands ist die Südwestwindrichtung mit einem Anteil von über 30% die dominante Hauptwindrichtung und somit bedeutsam hinsichtlich der Lage und Richtung von Windhindernissen. Im Westen und Südwesten Deutschlands nimmt der Anteil der Südwestrichtung auf über 50% deutlich zu.

Für die Ausweisung und Einbindung von Windhindernissen wurde das digitale Basis-Landschaftsmodell (ATKIS Basis-DLM) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) genutzt, dessen Informationsumfang sich am Inhalt der Topographischen Karte 1:25.000 orientiert. Die nach DIN 19706:2013-02 erforderliche Kategorisierung von Windhindernissen (u.a. Baumreihen, Hecken, Wald) und die Zuordnung einer mittleren Hindernishöhe lässt sich aus diesem Datenbestand umsetzen. Die Ermittlung der Schutzwirkungsstufen von Windhindernissen folgt dem in Abbildung 4 dargestellten Schema.

Aufgrund der zumeist lokalen Schutzwirkung von Windhindernissen spiegelt sich diese gleichermaßen in der Bewertung der potenziellen Erosionsgefährdung wider. Gebiete mittlerer bis sehr hoher Erosionsgefährdung nehmen durch die Einbeziehung der Schutzwirkung der Windhindernisse in ihrem Flächenanteil ab. Relevante

Abbildung 4:

Schema zur Ermittlung der Schutzwirkungsstufen von Windhindernissen



Quelle: DIN 19706:2013-02 - verändert

Abbildung 5:

Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wind auf ackerbaulich genutzten Böden



Potenzielle Erosionsgefährdung (im Schutzbereich von Hindernissen)



Umwelt Bundesamt

geoflux



Inhaltliche Bearbeitung und kartographische Umsetzung: D. Wurbs (geoflux) M. Steininger (MISB)

UFOPLAN 2013 – FKZ 371371231

Methodischer Ansatz:

DIN 19706:2013-02 - Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wind
 AK EROSIONSGEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG (2008): Entwurf zur Abschätzung der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wind (§ 5 des Direktzahlungen-Verpflichtungen-Gesetzes)

Verwendete Datengrundlagen:

Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BÜK1000N) - BGR
 Digitales Basis-Landschaftsmodell (ATKIS Basis-DLM) - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit 1981-2000 in 10m Höhe - Deutscher Wetterdienst (DWD)
 Häufigkeit der 8 Hauptwindrichtungen Februar bis Mai (Windgeschwindigkeiten > 7 m/s) - DWD
 Geobasisdaten: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Unterschiede zur natürlichen Erosionsgefährdung treten bei der Ausweisung großräumiger Schwerpunktgebiete hingegen nicht auf.

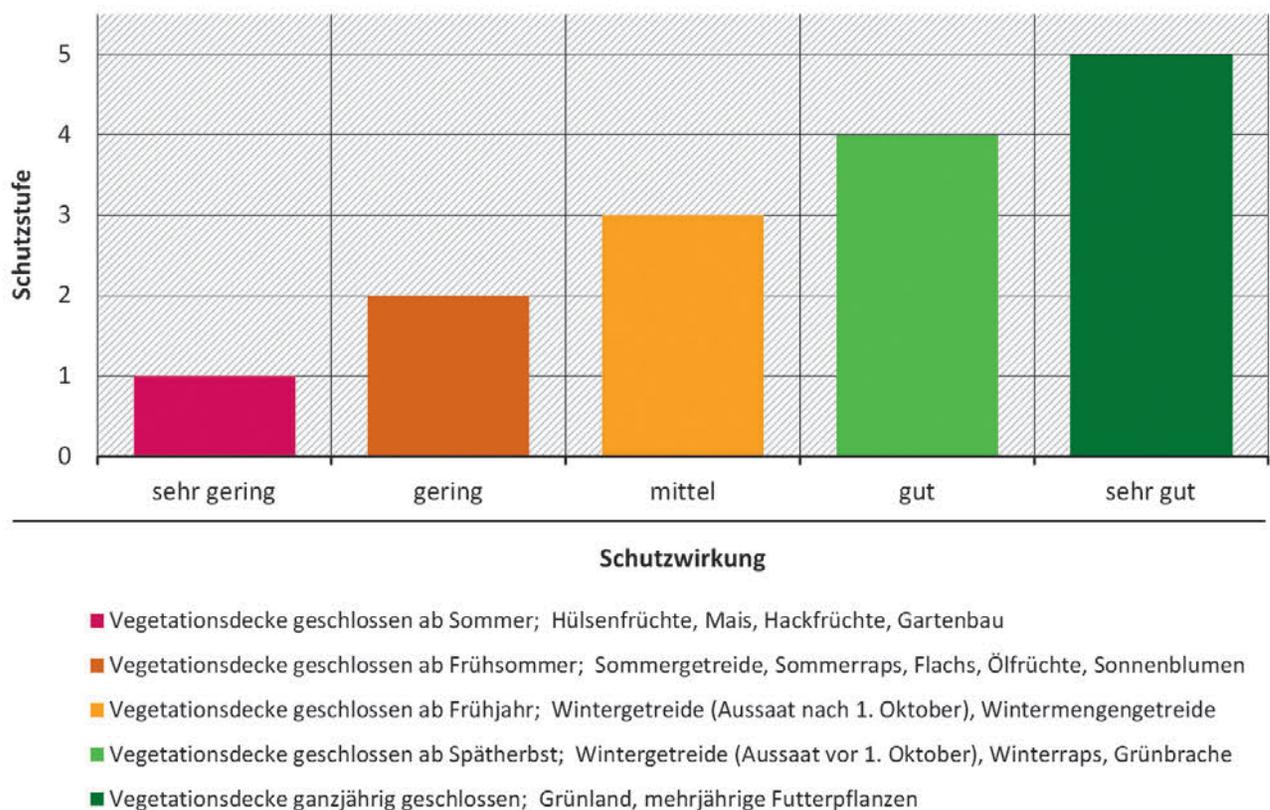
Die Vegetationsbedeckung des Bodens, insbesondere der innerjährliche Grad der Bodenbedeckung im Bezug zum Verlauf des Windintegrals, hat einen wesentlichen Einfluss auf das Gefährdungspotenzial der Standorte hinsichtlich der Winderosion. Im methodischen Ansatz nach DIN 19706:2013-02 wird dieser Einfluss durch die Stufen der **Schutzwirkung von Fruchtarten** bzw.

Fruchtfolgen widergespiegelt. In Kombination der Schutzwirkung von Bewirtschaftungsmaßnahmen mit der natürlichen Winderosionsgefährdung wird die **bewirtschaftungsbezogene Erosionsgefährdung durch Wind** ausgewiesen.

Je nach innerjährlichem Grad der Bodenbedeckung der Fruchtarten liegt die Schutzstufe bei konventioneller Bodenbearbeitung zwischen 1 (= sehr gering – Vegetationsdecke geschlossen ab Sommer) und 5 (= sehr gut – Vegetationsdecke ganzjährig geschlossen).

Abbildung 6:

Einstufung der Schutzwirkung von Fruchtarten bei konventioneller Bodenbearbeitung



Für die ackerbaulich relevanten Fruchtfolgen liegt die Schutzstufe je nach Fruchtartenanteil im Bereich zwischen 4 (reine Wintergetreidefruchtfolgen mit Aussaat vor dem 1. Oktober) und 1 (Getreide-Hackfrucht-Fruchtfolge mit < 50 % Mais-/Hackfruchtanteil). Neben der fruchtartenspezifischen Bodenbedeckung haben die Anbausysteme (z. B. Zwischenfrucht oder Untersaat) sowie die Bodenbearbeitung (Pflug, konservierend, Direktsaat) erhebliche Auswirkungen auf die Schutzwirkung.

Statistisches Datenmaterial zur landwirtschaftlichen Bodennutzung liegt auf Ebene der Bundesländer frei verfügbar bei den jeweiligen statistischen Landesämtern vor und ist dort recherchierbar. Standortkundliche und agrarstrukturelle Differenzierungen, die innerhalb der Bundesländer zu veränderten Anbauspektren führen, lassen sich mit diesem Datenmaterial nicht umsetzen, sind jedoch für eine gebietskonkrete Ermittlung der bewirtschaftungsbezogenen Schutzwirkung unbedingt notwendig. Da eine Auswertung auf Gemeindeebene

aufgrund vorliegender datenschutzrechtlicher Bestimmungen nicht umsetzbar ist, wurden als räumliche Bewertungsebene für die Bewertung der Schutzwirkung von Fruchtarten und der bewirtschaftungsbezogenen Erosionsgefährdung die Naturraumeinheiten des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) herangezogen (BfN 2008). Aufgrund der Ausgrenzungskriterien ist hinsichtlich der landwirtschaftlichen Nutzung innerhalb der Naturräume von ähnlichen bis gleichen Anbauspektren und –systemen auszugehen. Dennoch können aufgrund des Aggregationsniveaus nur Fruchtartenanteile sowie die mittleren Schutzstufen für die Naturräume ausgewiesen werden. Eine flächenkonkrete Ableitung der Bodennutzung und Zuordnung der Schutzstufen innerhalb der Naturräume ist mit den vorliegenden Daten nicht möglich.

Die Ermittlung der in den Naturraumeinheiten angebauten Fruchtarten basiert auf dem Datenbestand des Forschungsdatenzentrums Nord in Kiel (FDZ) zur Landwirtschaftszählung. Die Daten repräsentieren den Stand 2010 und stellen die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Merkblattes letzte Gesamterfassung der landwirtschaftlichen Struktur- und Betriebsdaten dar, d. h.,

sie repräsentieren die flächendeckend auf Bundesebene verfügbaren statistischen Daten zur Landwirtschaft.

Eine weitere Konkretisierung über die Untersetzung der Schutzwirkung durch die Berücksichtigung nichtwendender Bodenbearbeitungssysteme, d. h. eine Erhöhung der Bodenbedeckung aus Mulch, ist unter Verwendung des verfügbaren Datenbestandes nicht möglich.

Aus der Auswertung der Daten des FDZ Nord ergeben sich zum Stand 2010 die in Abbildung 7 dargestellten Anteile von **ackerbaulich genutzten Flächen** in den Naturräumen Deutschlands. Dabei liegen die höchsten Anteile mit über 75 % im Bereich des nordöstlichen Harzvorlandes und der Magdeburger Börde. Desweiteren weisen vor allem die Lössregionen in Sachsen-Anhalt und Sachsen sowie große Bereiche in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen Ackeranteile von über 50% auf.

Auf Ebene der wesentlichen Fruchtartengruppen lassen sich die in Tabelle 2 aufgeführten Anbauflächen zusammenfassen.

Tabelle 2:

Bundesweite Anbauflächen der wesentlichen Fruchtartengruppen

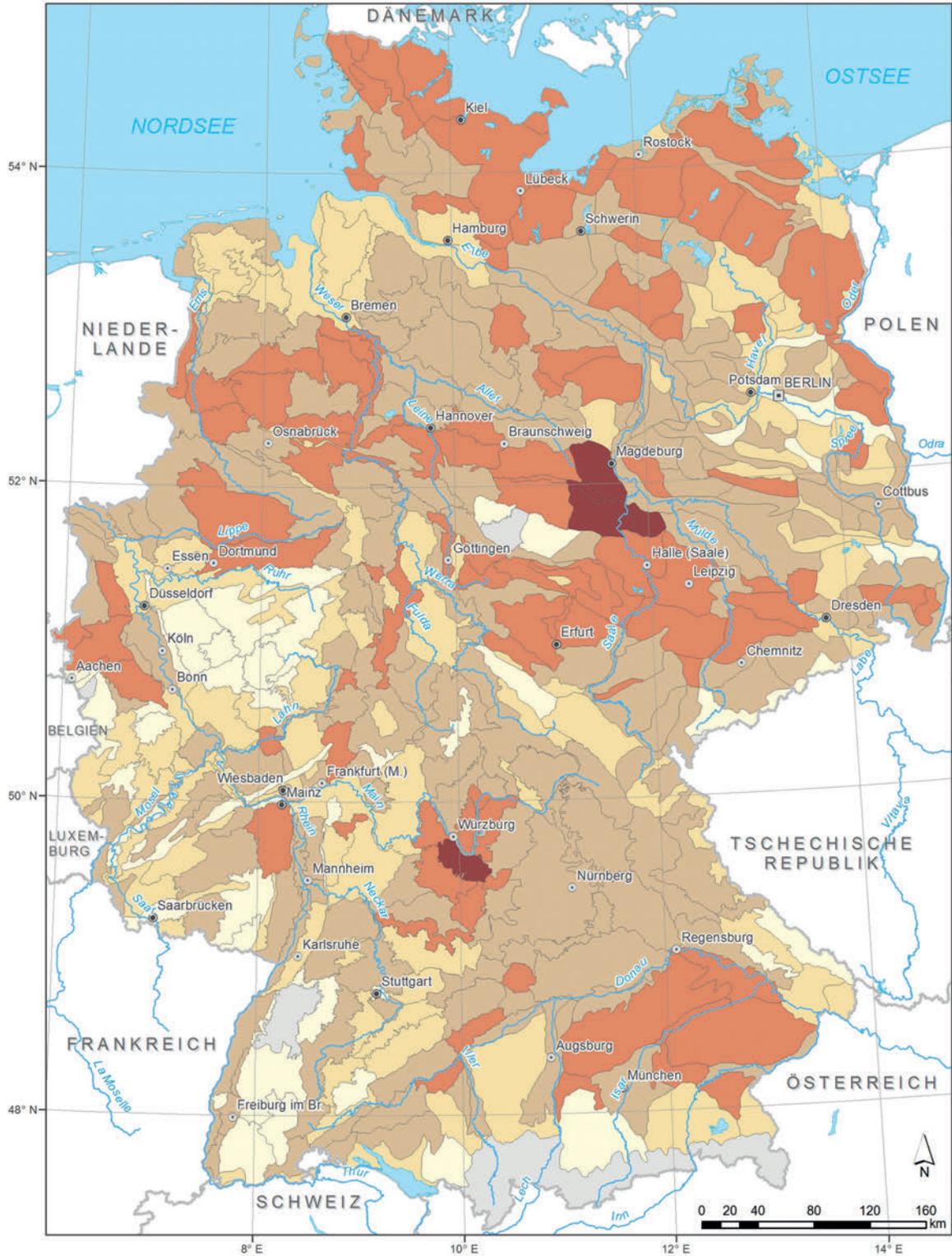
Fruchtartengruppe	Anbaufläche [ha]	Anteil an Ackerfläche gesamt [%]
Wintergetreide	5.543.262	49,4
Mais	2.289.853	20,4
Winterraps	1.452.460	12,9
Ackerfutter	629.842	5,6
Sommergetreide	561.031	5,0
Zuckerrübe	363.092	3,2
Kartoffel	250.379	2,2
Hülsenfrüchte	94.754	0,8

Erwartungsgemäß nimmt das Wintergetreide (siehe Abbildung 8) bundesweit die größte Anbaufläche ein. Davon entfallen 58% der Anbaufläche auf Winterweizen, 23% auf Wintergerste und 19% auf die restlichen Wintergetreide. Mit Ausnahme von Bergländern, dem alpinen Raum sowie einigen Heideflächen wird in Deutschland flächendeckend Wintergetreide angebaut, welches aus Sicht der bewirtschaftungsbezogenen

Schutzwirkung gegen Winderosion in Abhängigkeit vom Aussaattermin eine mittlere bis hohe Schutzwirkung aufweist. Winterweizen und Wintergerste mit ihren hohen Standortansprüchen konzentrieren sich auf die Gunstflächen der Löss- und Lehmregionen und haben hier einen Flächenanteil von > 50%. Triticale und Winterroggen werden als Wintergetreide auf den ertragschwächeren Standorten mit sandigen Substraten oder

Abbildung 7:

Anteil ackerbaulich genutzter Flächen in den Naturräumen



Anteil ackerbaulicher Nutzung [%]



Verwendete Datengrundlagen:

Naturraumeinheiten - Bundesamt für Naturschutz
 Digitales Basis-Landschaftsmodell (ATKIS Basis-DLM) - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Geobasisdaten: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

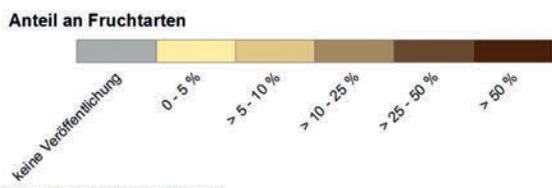
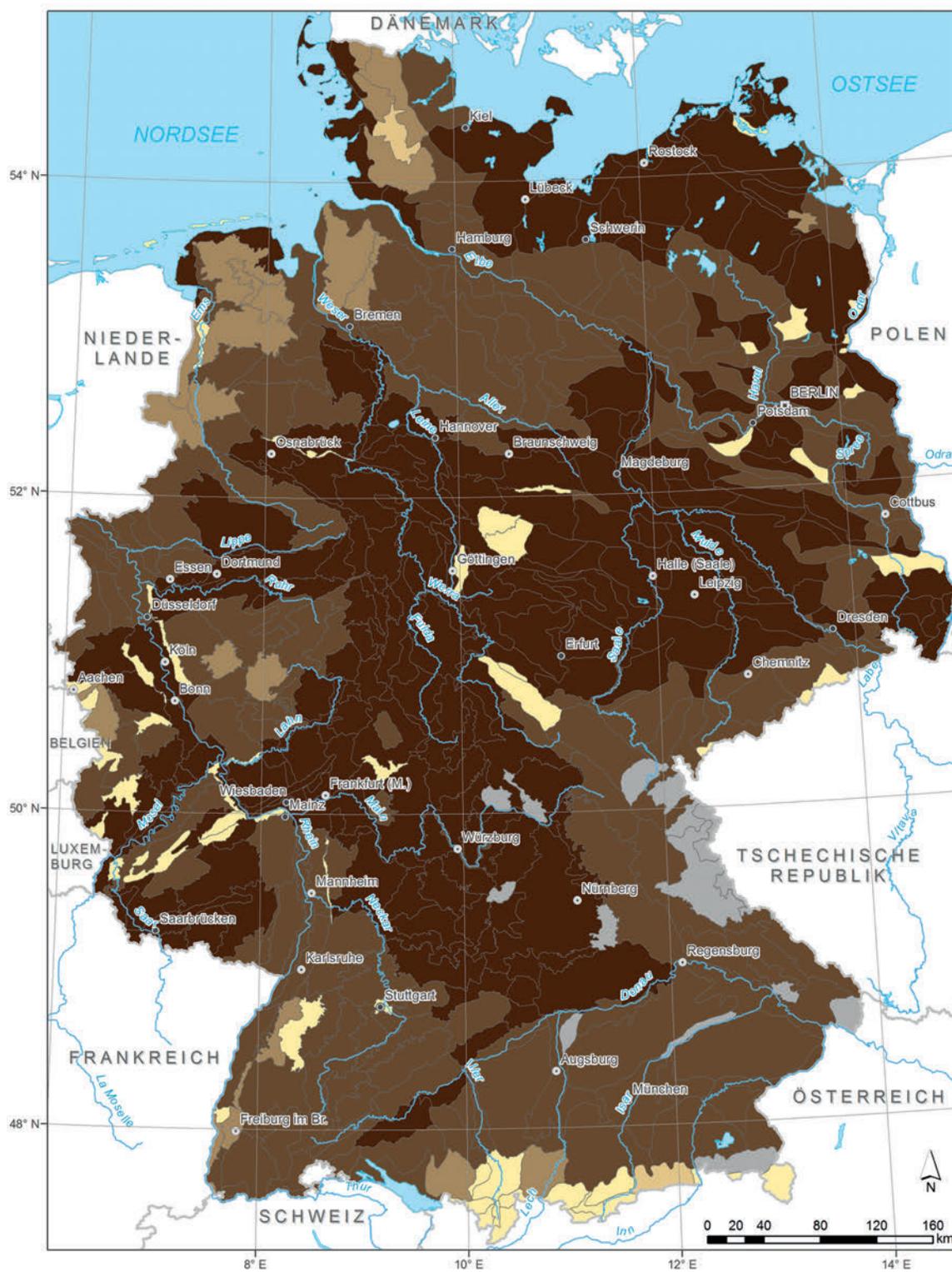


Inhaltliche Bearbeitung und D. Wurbs (geoflux)
kartographische Umsetzung: M. Steinger (MISB)

UFOPLAN 2013 – FKZ 371371231

Abbildung 8:

Anteil Wintergetreide an den Fruchtarten in den Naturräumen



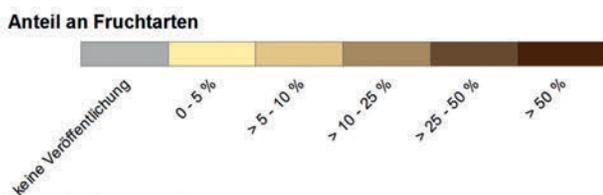
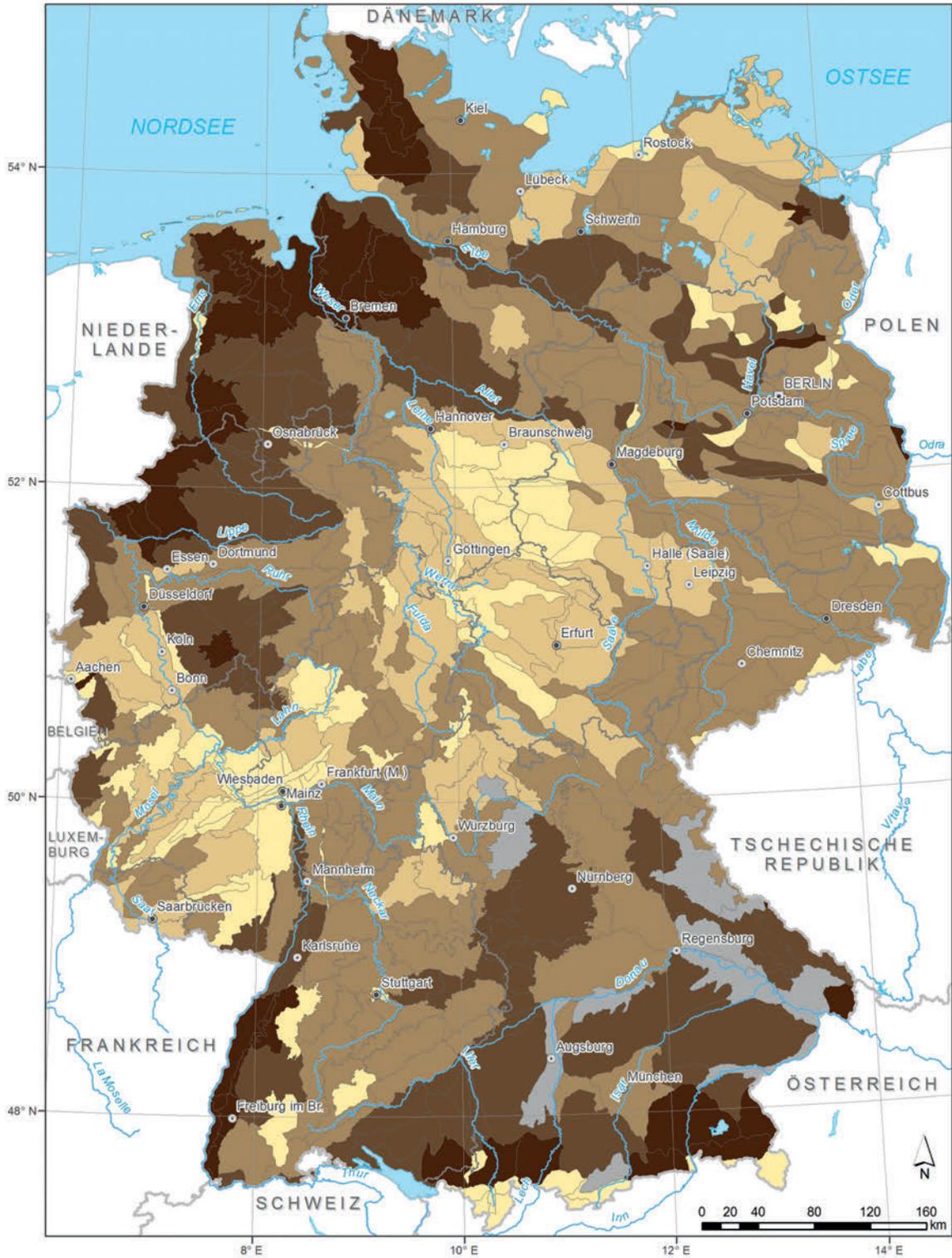
Verwendete Datengrundlagen:
 Landwirtschaftszählung 2010 - Forschungsdatenzentrum Nord (auf Naturraumebene aggregiert)
 Naturraumeinheiten - Bundesamt für Naturschutz (BN)
 Geobasisdaten: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Inhaltliche Bearbeitung und D. Würbs (geoflux)
kartographische Umsetzung: M. Steinger (MISB)

UFOPLAN 2013 – FKZ 371371231

Abbildung 9:

Maisanteil an den angebauten Fruchtarten in den Naturräumen



Verwendete Datengrundlagen:
 Landwirtschaftszählung 2010 - Forschungsdatenzentrum Nord (auf Naturraumebene aggregiert)
 Naturraumeinheiten - Bundesamt für Naturschutz (BfN)
 Geobasisdaten: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Inhaltliche Bearbeitung und D. Würbs (geoflux)
kartographische Umsetzung: M. Steininger (MISB)

UFOPLAN 2013 – FKZ 371371231

auf den Ackerstandorten der Bergländer angebaut. Die Flächenanteile betragen hier in der Regel zwischen 10 und < 50 %.

Der Mais als Futter- und/oder Bioenergiepflanze nimmt deutschlandweit mit 20,4 % die zweitgrößte Anbaufläche ein (Abbildung 9). Der Anbau konzentriert sich auf die klassischen Tierproduktionsregionen im Norden und Westen der Bundesrepublik sowie auf Regionen in Bayern und Baden-Württemberg. Aber auch in Brandenburg und im östlichen Sachsen-Anhalt ist auf den leichten Standorten eine zunehmende Tendenz des Maisanbaus, insbesondere durch den Ausbau der Bioenergieerzeugung, zu beobachten. In diesen Regionen bewegt sich der Anteil der Maisflächen zwischen > 25 bis 50 %. In den reinen Marktfruchtregionen ohne intensive Tierhaltung und der Wertschöpfung aus Wintergetreide und Winterraps liegt er dagegen bei < 25 %. Die übrigen Regionen mit einer Mischung aus Pflanzen- und Tierproduktion weisen einen Maisanteil von 10 bis 25 % auf. Aus Sicht des vorsorgenden Erosionsschutzes (sowohl Wind- als auch Wassererosion) ist diese Entwicklung kritisch zu bewerten, da die Schutzwirkung von Sommerungen, insbesondere Reihenkulturen, ohne Zwischenfruchtanbau sehr gering ist. Die Winderosion betreffend kommt hinzu, dass ein Großteil des Maisanbaus auf den leichten, sandigen

Standorten stattfindet. Diese Substrate weisen eine hohe Erodibilität gegenüber den Windkräften auf und sind somit bis zur vollständigen Bodenbedeckung sehr hoch winderosionsgefährdet.

Den drittgrößten Flächenanteil nimmt mit 12,9 % der Winterraps ein, liegt jedoch bereits deutlich hinter Wintergetreide und Mais. Hinsichtlich der Schutzwirkung gegen Winderosion ist diese Fruchtart sehr positiv einzuschätzen, da die Bodenbedeckung noch im Herbst des Aussaatjahres erfolgt. Darüber hinaus hat sich der Anbau von Winterraps auf vielen Standortlagen bis in die mittleren Bergländer etabliert. Die drei in Deutschland am häufigsten angebauten Fruchtarten/-gruppen nehmen in Summe 82,7 % der Ackerfläche ein. Der verbleibende Flächenanteil wird vorwiegend durch Ackerfutter (5,6 %), Sommergetreide (5,0 %), Zuckerrübe (3,2 %), Kartoffel (2,2 %) und Hülsenfrüchte (0,8 %) belegt.

Aufgrund der ermittelten Flächenanteile der angebauten Fruchtarten/-gruppen wird auf 67,9 % der Anbaufläche eine **mittlere bis sehr gute bewirtschaftungsbezogene Schutzwirkung** erreicht. Auf 31,6 % der Anbauflächen liegt nur eine geringe bis sehr geringe Schutzwirkung vor. Kritisch ist hierbei, dass sich in der Regel diese Anbausysteme auf die Standorte mit einer hohen natürlichen Winderosionsgefährdung konzentrieren.

4 Winderosionsgefährdung im Zuge des Klimawandels

4.1 Modellansatz und Szenarienauswahl

Im Zuge des Klimawandels sind durch die Veränderung der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse Auswirkungen auf die Bodenfeuchte zu erwarten, die im Zusammenhang mit der prognostizierten Häufung der Starkwinde eine Zunahme des Gefährdungspotenzials für die landwirtschaftlich genutzten Böden bedeuten würden (UBA 2011). Für die Bewertung der zukünftigen Erosionsgefährdung durch Wind sind demnach Klimamodelle sowie Erosionsmodellansätze erforderlich, welche die Entwicklung der genannten Kenngrößen abbilden. Da der Ansatz nach DIN 19706:2013-02 ausschließlich die Windgeschwindigkeit als Klimasignal ausweist, können mit dem DIN-Verfahren keine aussagekräftigen Tendenzen der zukünftigen Gefährdungssituation abgeleitet werden.

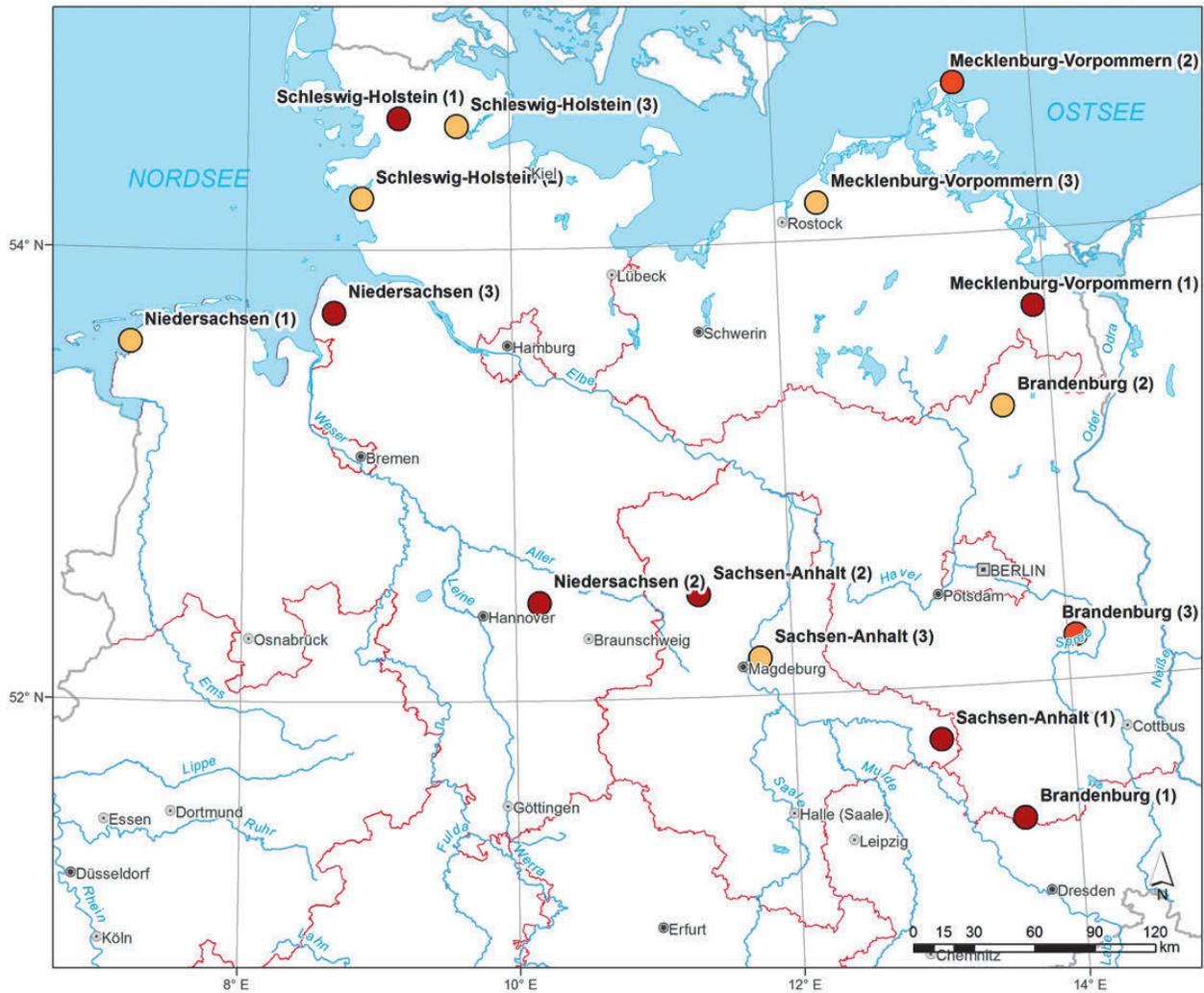
Dagegen berücksichtigt das Erosionsmodell RWEQ (Fryrear et al. 2000) die erforderlichen boden- und

klimarelevanten Parameter und ist somit geeignet, die natürliche und bedeckungsabhängige Winderosionsgefährdung zu quantifizieren, um Aussagen für die zukünftige Erosionsgefährdung ableiten zu können. Als Eingangsdaten wurden bodenkundliche Standortparameter (Bodenart, Kalkgehalt, Humusgehalt), Management- und Bodenbedeckungskennwerte sowie aus den Klimaszenariendaten abgeleitete Klimakenngrößen (mittlere Windgeschwindigkeit, Starkwinde, Temperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag) aufbereitet und parametrisiert.

Eine bundesweite Anwendung des Modells ist mit sehr großem Daten- und Parametrisierungsaufwand verbunden, sodass für die Bewertung klimabedingter Veränderungen repräsentative Landschaftsausschnitte als Modellgebiete ausgewählt wurden. Aus den Ergebnissen lassen sich Tendenzen der zukünftigen Winderosionsgefährdung ableiten und auch auf größere Landschaftsräume übertragen. Die Modellgebiete befinden sich in

Abbildung 10:

Lage und Gefährdungseinstufung der Modellgebiete



Einstufung der mittleren potenziellen Erosionsgefährdung

- sehr hoch
- hoch
- mittel


 Inhaltliche Bearbeitung und D. Wurbs (geoflux)
 kartographische Umsetzung: M. Steinger (MISB)
 UFOPLAN 2013 – FKZ 371371231

Verwendete Datengrundlagen:
 Geobasisdaten: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

den durch Winderosion besonders betroffenen Bundesländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt (Abbildung 10). Sie sind vorwiegend ackerbaulich genutzt und weisen entsprechend der DIN-Einstufung eine mittlere bis sehr hohe dominierende potenzielle Erosionsgefährdung durch Wind auf.

Die Erosionsmodellierung wurde anhand der Ergebnisse der Modellläufe des regionalen Klimamodells **COSMO-CLM** vorgenommen (Hollweg u.a. 2008). Zur

Abschätzung des Einflusses der internen Variabilität des Modellsystems auf die simulierten Klimaänderungen wurde die Klimaentwicklung für einen vorgegebenen Verlauf der Treibhausgasemissionen bei diesem Regionalmodell mehrfach gerechnet. Die Modellergebnisse sind Teil des Regionalen bzw. des Norddeutschen Klimaatlas (Meinke und Gerstner 2009; Norddeutsches Klimabüro 2009) und derzeit gültige Entscheidungsgrundlage für Handlungsempfehlungen hinsichtlich Anpassung und Vulnerabilität. Als Emissionsszenarium wurde das Szenarium SRES A1B gewählt, bei dem der

Antrieb mit dem Globalmodell ECHAM5 erfolgt. Das Szenarium beinhaltet globale Annahmen für ein sehr schnelles Wirtschaftswachstum, eine ausgewogene Nutzung fossiler und nichtfossiler Energiequellen sowie den Einsatz neuer und effizienter Technologien. Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts wird von einer Zunahme der Weltbevölkerung ausgegangen, deren Zahl bis zum Jahr 2100 wieder rückläufig sein wird. In Bezug auf die SRES-Szenarien wurde das A1B-Emissionsszenarium in der Vergangenheit aufgrund der am realistischsten angesehenen Wiedergabe der zukünftigen Entwicklungen häufig eingesetzt. Perspektivisch liegen die Daten der neuesten RCP-Emissionsszenarien (Representative Concentration Pathways) in einer für den Modellansatz geeigneten Raum- und Zeitaufösung vor.

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse zeigen mögliche Tendenzen der zukünftigen Gefährdungssituation für die Szenarienzeiträume 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100 im Vergleich mit dem Kontrolllauf des Klimamodells für die Periode 1971 bis 2000 auf. Berechnet wurde die langjährige **natürliche Erosionsgefährdung** auf Grundlage der Boden- und Klimaeigenschaften und die **fruchtartenabhängige Erosionsgefährdung** unter Verwendung definierter Fruchtartenverteilungen.

4.2 Entwicklung der natürlichen Erosionsgefährdung durch Wind

Die Tendenzen der natürlichen Erosionsgefährdung beruhen auf einem veränderten Verhalten der Starkwindentwicklung sowie der Oberbodenfeuchte (abgeleitet aus dem zeitlichen Verlauf von Niederschlag, Strahlung und Temperatur). Gegenüber der Referenzperiode kann für die Periode 2011 bis 2040 in allen Modellgebieten ein Anstieg der natürlichen Erosionsgefährdung prognostiziert werden (Abbildung 11). Überdurchschnittlich fallen dabei die Zunahmen in den küstennahen Gebieten mit einem Anstieg zwischen 20 und 40 % aus. In Brandenburg und Sachsen-Anhalt ist der Anstieg geringer und beträgt zwischen 10 bis 20 %. In der Folgeperiode 2041 bis 2070 zeigt sich ein abnehmender Trend der natürlichen Erosionsgefährdung gegenüber dem Zeitraum 2011 bis 2040. Dennoch können gegenüber dem Referenzzeitraum weiterhin um 10 bis 20 % erhöhte Werte festgestellt werden. Ein deutlicher Anstieg der natürlichen Erosionsgefährdung tritt in der in der letzten Betrachtungsperiode von 2071 bis 2100 ein. Hier ist eine größere Heterogenität der räumlichen Verteilung festzustellen. Sowohl in den küstennahen Gebieten als

auch im Binnenland zeigen Modellgebiete eine Zunahme der Gefährdung von über 20 %, teilweise von über 40 % auf.

Die Auswertung der Entwicklung der natürlichen Erosionsgefährdung lässt zunächst nur eine Bewertung mittlerer jährlicher Veränderungen zu. Die Klimaentwicklung kann hingegen innerjährliche Differenzierungen aufweisen, einhergehend mit Monaten gleichbleibender oder abnehmender Erosionsgefährdung und Zeitabschnitten mit weit überdurchschnittlichem Anstieg der Winderosionsgefahr.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zwingend zu berücksichtigen, dass mit zunehmender zeitlicher Entfernung der Szenarienzeiträume vom Referenzzeitraum die Unsicherheit der Aussagefähigkeit der Klimamodellergebnisse zunimmt. Die für die Klimaszenarienzeiträume erarbeiteten Prognosen stellen nur zukünftige, klimaabhängige Tendenzen der Entwicklung der Winderosionsgefährdung in Größenordnungen dar. Eine detaillierte quantitative Auswertung ist aufgrund des vereinfachten Modellansatzes und der Aussagefähigkeit der Klimaszenarienmodelle mit Unsicherheiten verbunden.

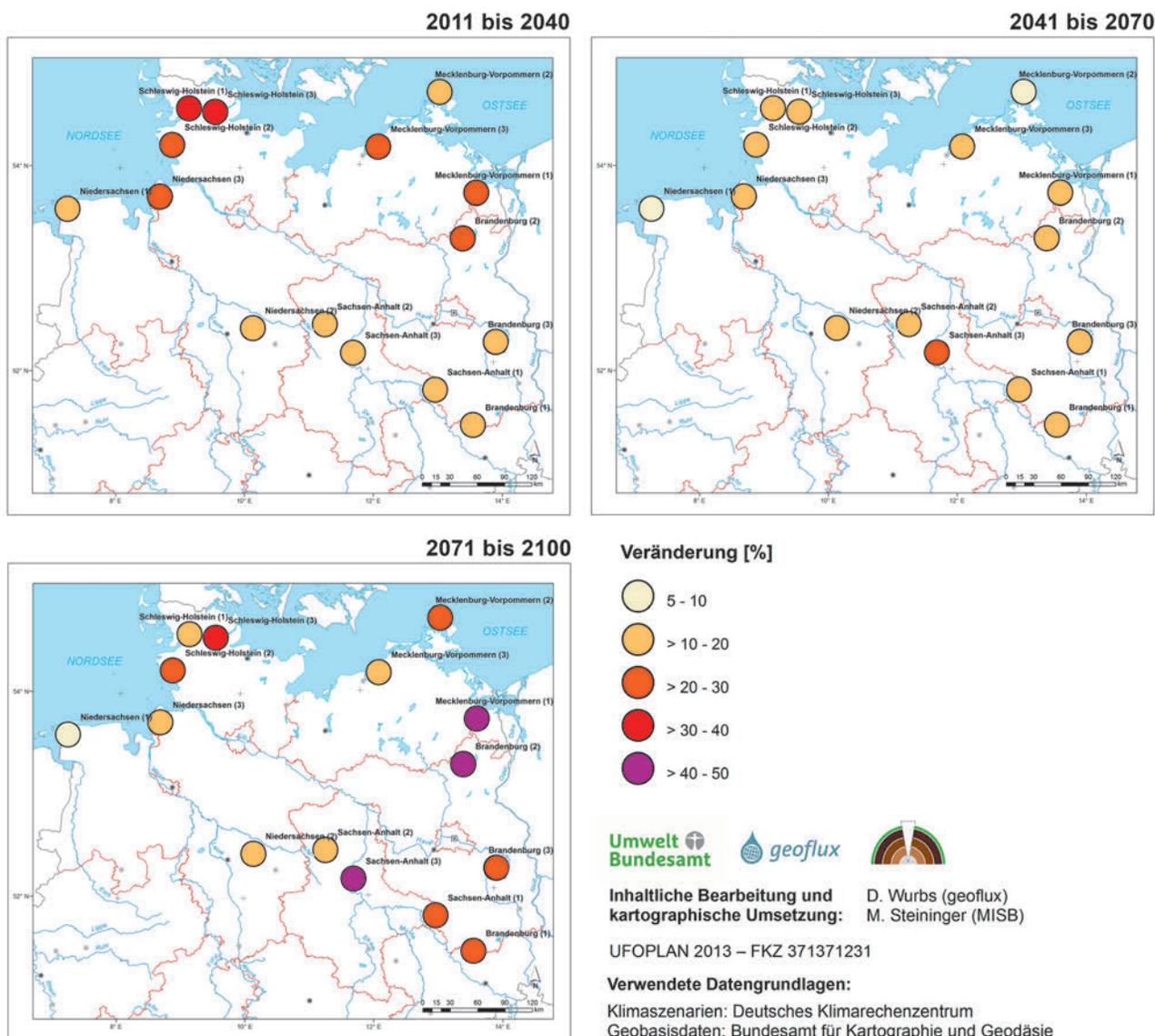
4.3 Szenarien für die fruchtartenabhängige Entwicklung der Erosionsgefährdung durch Wind

Treffen innerjährliche Abschnitte zunehmender natürlicher Gefährdung auf Anbauperioden geringer Bodenbedeckung, ist von einer überdurchschnittlichen Zunahme der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung auszugehen. Um derartige Szenarien zu untersuchen und die Auswirkung auf den Bodenabtrag in ihren Randbedingungen und für mittlere Verhältnisse abzubilden, wurden aufbauend auf den Ergebnissen der Modellierung des natürlichen Bodenabtrages folgende Szenarien für Fruchtartenzusammensetzungen aufgestellt und die Modellierung der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung für vier Perioden vorgenommen:

- ▶ **Fruchtartenspektrum „Ist“:** Auf Basis des Datenbestandes des Forschungsdatenzentrums Nord zur Landwirtschaftszählung (vgl. Kap. 3) wurde eine Fruchtfolge für die gegenwärtige Anbaustruktur ermittelt und für die Prognosezeiträume übernommen.
- ▶ **Möglichst ganzjährige Bodenbedeckung (100 % Wintergetreide):** Diese Annahme entspricht einer reinen Wintergetreide-Fruchtfolge mit einer Bodenbearbeitung unmittelbar vor der Aussaat oder die

Abbildung 11:

Tendenzen der zukünftigen natürlichen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten



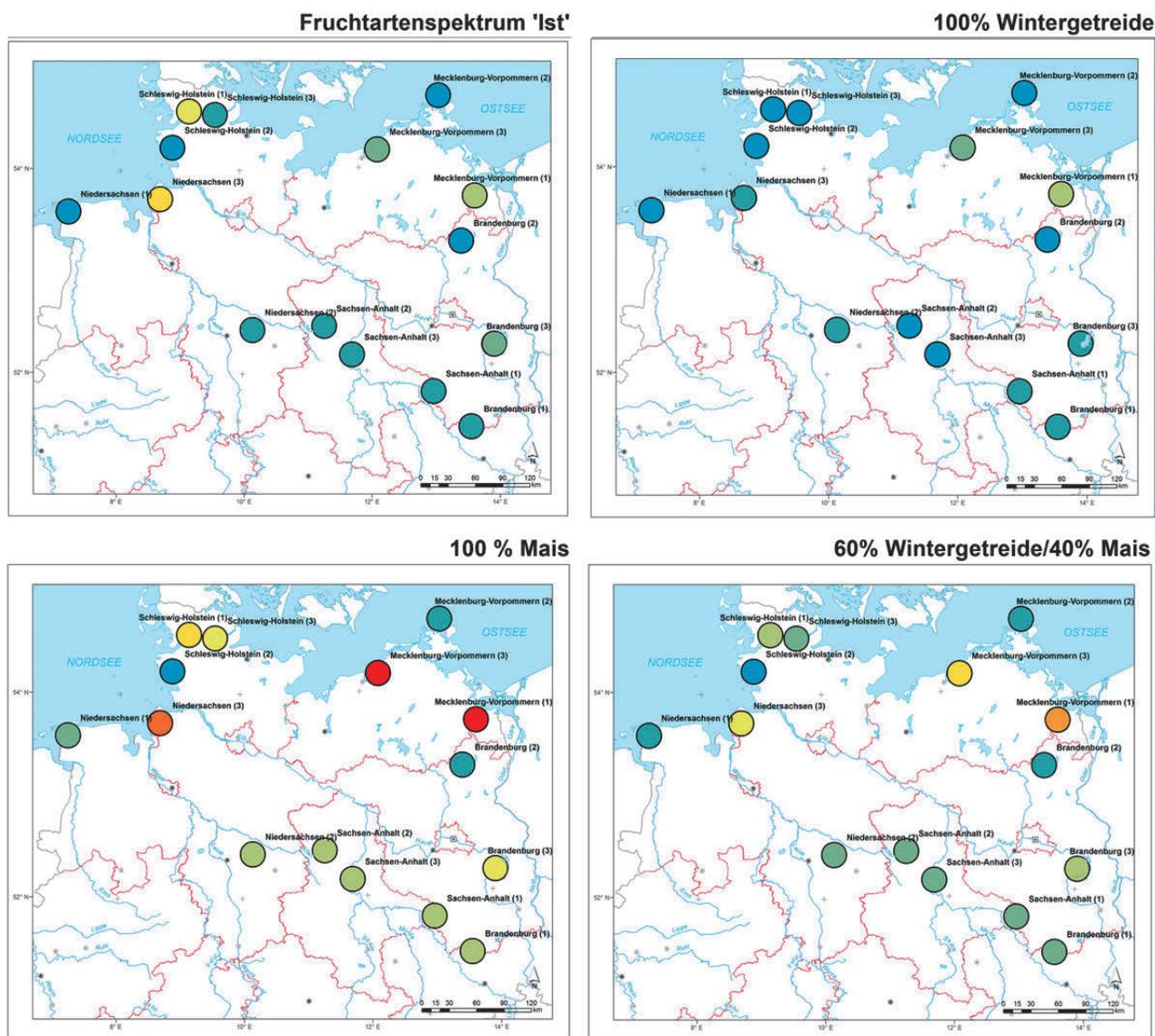
Einbindung von Zwischenfrüchten und Untersaaten in die Anbausysteme. Dieses Szenarium stellt das Optimum dar.

- ▶ **Maisanbau (100%):** Das Szenarium ist ein fiktiver Ansatz, der nicht zur Anwendung kommt, aber die Auswirkung einer dauerhaft langen Phase ohne Bodenbedeckung abbildet. Unter Nutzungsbedingungen stellt dieses Szenarium den ungünstigsten anzunehmenden Fall (worst case) dar.
- ▶ **Mittlere Anbauverhältnisse (60 % Wintergetreide/40 % Mais):** Dieses Szenarium wird abgebildet durch einen Anteil an Wintergetreide in Höhe von 60% und einen Maisanteil von 40%.

Abbildung 12 verdeutlicht die unterschiedliche Erosionsgefährdung in den Modellgebieten in Abhängigkeit von den gewählten Szenarien. Bezogen auf die Referenzperiode 1971 bis 2000 würde ein (fiktiver) flächendeckender Maisanbau zu maximalen Abtragsraten in allen Gebieten führen. Dieser liegt aufgrund der Schutzwirkung der Bodenbedeckung zwar deutlich unterhalb der Werte für den natürlichen Bodenabtrag, aber dennoch um ein Vielfaches über den Abtragsraten des Szenariums einer möglichst ganzjährigen Bodenbedeckung mit 100% Wintergetreide. Die Differenz zwischen den Bodenabträgen des Szenariums „100% Maisanbau“ und der derzeitigen Fruchtartenzusammensetzung ist in den Modellgebieten, die sich in Naturräumen mit einem heute hohen Maisanteil befinden (Abbildung 9), am geringsten. Dazu zählen vor allem die Regionen in Schleswig-Holstein und Niedersachsen.

Abbildung 12:

Mittlerer jährlicher Bodenabtrag in den Modellgebieten für verschiedene Fruchtartenszenarien – Referenzperiode 1971 - 2000



Mittlerer jährlicher Bodenabtrag [t/ha/Jahr]



Inhaltliche Bearbeitung und
kartographische Umsetzung: D. Wurbs (geoflux)
M. Steinger (MISB)

UFOPLAN 2013 – FKZ 371371231

Verwendete Datengrundlagen:

Klimaszenarien: Deutsches Klimarechenzentrum
Daten der Landwirtschaftszählung 2010 - Forschungsdatenzentrum Nord
Geobasisdaten: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die relativen Veränderungen (Tendenzen) der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten für die verschiedenen Fruchtartenzusammensetzungen bzw. –

szenarien. Bezugsgröße ist jeweils der Bodenabtrag, der für die Referenzperiode 1971 bis 2000 berechnet wurde. Zu beachten ist, dass aus großen relativen Veränderungen nicht in gleichem Maße auf den Anstieg

der absoluten Erosionsgefährdung geschlossen werden kann. Hierbei ist das unterschiedliche Ausgangsniveau der Bodenabträge bei den einzelnen Fruchtarten zu berücksichtigen.

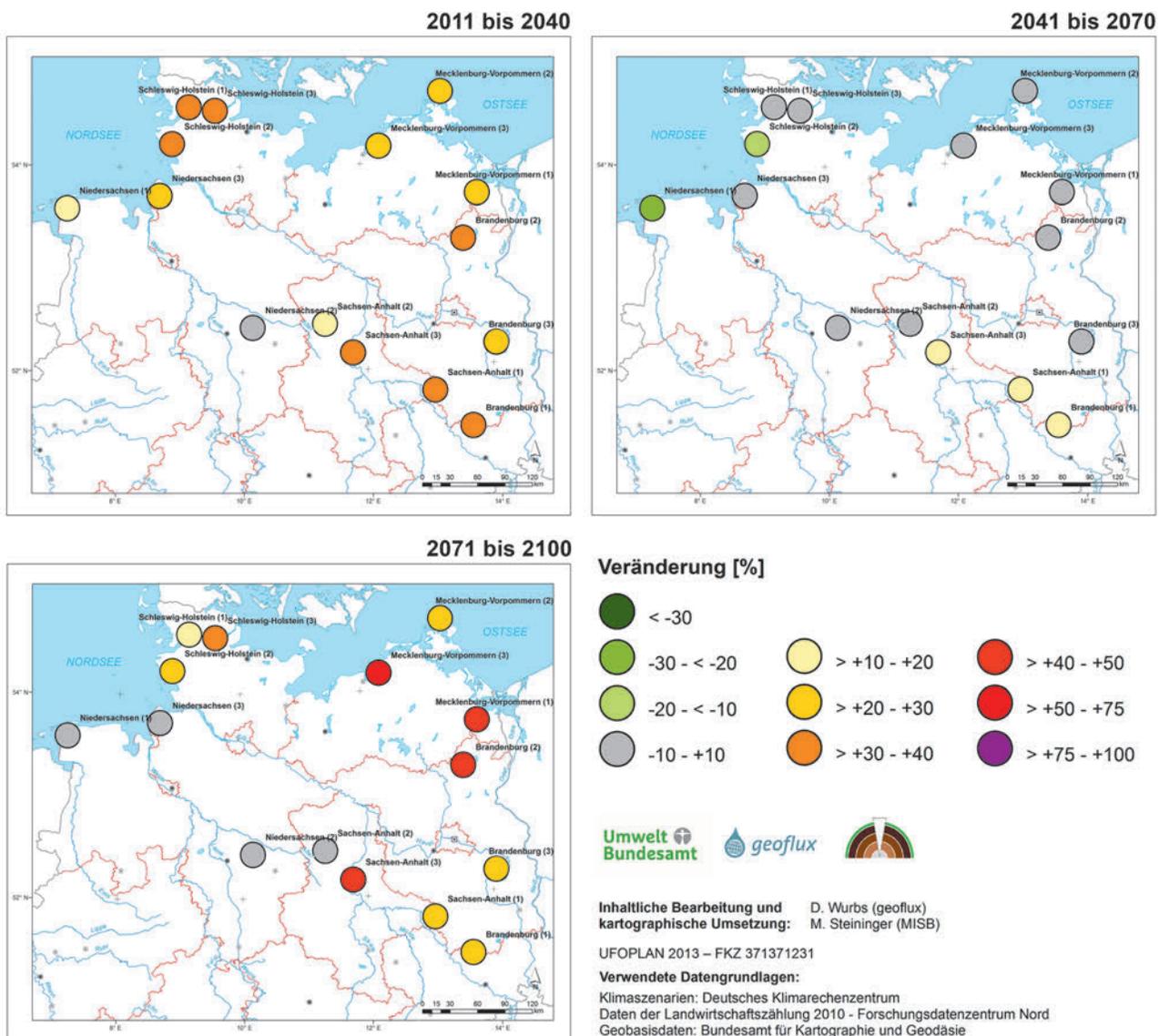
Abbildung 13 verdeutlicht, dass je nach Anbauspektrum die Entwicklung der fruchtartenabhängigen Winderosionsgefährdung deutlich differenzierter zu bewerten ist als die der natürlichen. Im Zeitraum 2011 bis 2040 zeigen nahezu alle Modellgebiete, sowohl im Binnenland als auch in den küstennahen Regionen, einen Anstieg von 20 bis 40%. Dagegen sind im Gegensatz zur natürlichen Erosionsgefährdung (vgl. Abbildung 11) bis 2070 gegenüber der heutigen Periode teils rückläufige Tendenzen erkennbar. Davon betroffen sind vor allem die durch hohen Maisanteil geprägten Regionen Norddeutschlands.

Hier lässt sich interpretieren, dass die Zunahme der natürlichen Gefährdung vorwiegend in Monaten hoher Bedeckung erfolgt und somit kaum wirksam ist. Dagegen ist in Zeiträumen geringer Bodenbedeckung von einem leichten Rückgang der natürlichen Gefährdung auszugehen. Diese Tendenz kehrt sich in der Klimaperiode 2071-2100 weitestgehend wieder um. Abgesehen von Ausschnitten in Nordwestdeutschland nimmt in großen Teilen der betrachteten Bundesländer die fruchtartenabhängige Erosionsgefährdung erneut zu.

Die Szenarienannahmen für eine 100%-ige Bodenbedeckung mit Wintergetreide bzw. Mais belegen den wechselseitigen Einfluss der innerjährlichen Veränderung der natürlichen Erosionsgefährdung und der fruchtartenabhängigen Bodenbedeckung. Für beide Fruchtarten

Abbildung 13:

Tendenzen der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten - Szenarium „Fruchtartenzusammensetzung - Ist“



tenszenarien kann die bereits erwähnte Zunahme der Erosionsgefährdung in der Periode 2011 bis 2040 sowie die darauffolgende weitestgehend abnehmende bzw. gleichbleibende Tendenz im Zeitraum 2041 bis 2070 festgestellt werden (Abbildungen 14 und 15). In der Periode 2071 bis 2100 bleibt die Erosionsgefährdung beim Maisszenarium in den meisten Modellgebieten weiterhin unverändert. In Mecklenburg-Vorpommern sind Zunahmen, im Binnenland zum Teil Rückgänge zu verzeichnen. Dagegen nehmen die Bodenabträge bei 100%-iger Wintergetreidebedeckung im gleichen Zeitraum flächendeckend deutlich zu. Ursache ist eine innerjährliche Verschiebung von Windgeschwindigkeit

und Bodenfeuchte. Insbesondere Kulturpflanzen, wie Mais, die in den Monaten März und April eine geringe und im Spätsommer vor der Ernte eine hohe Bodenbedeckung aufweisen, erreichen durch die Verschiebung eine bessere Schutzwirkung.

Anders ist die Situation bei den Wintergetreidearten (Winterweizen, Wintergerste). Diese Fruchtarten weisen im Frühjahr bereits eine geschlossene Bodenbedeckung auf. Dagegen lässt die Schutzwirkung nach der Ernte im Sommer nach, sodass die innerjährliche Verschiebung der Klimafaktoren in Richtung September zu einem Anstieg der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung

Abbildung 14:

Tendenzen der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten - Szenarium „Ganzjährige Bodenbedeckung - Wintergetreide“

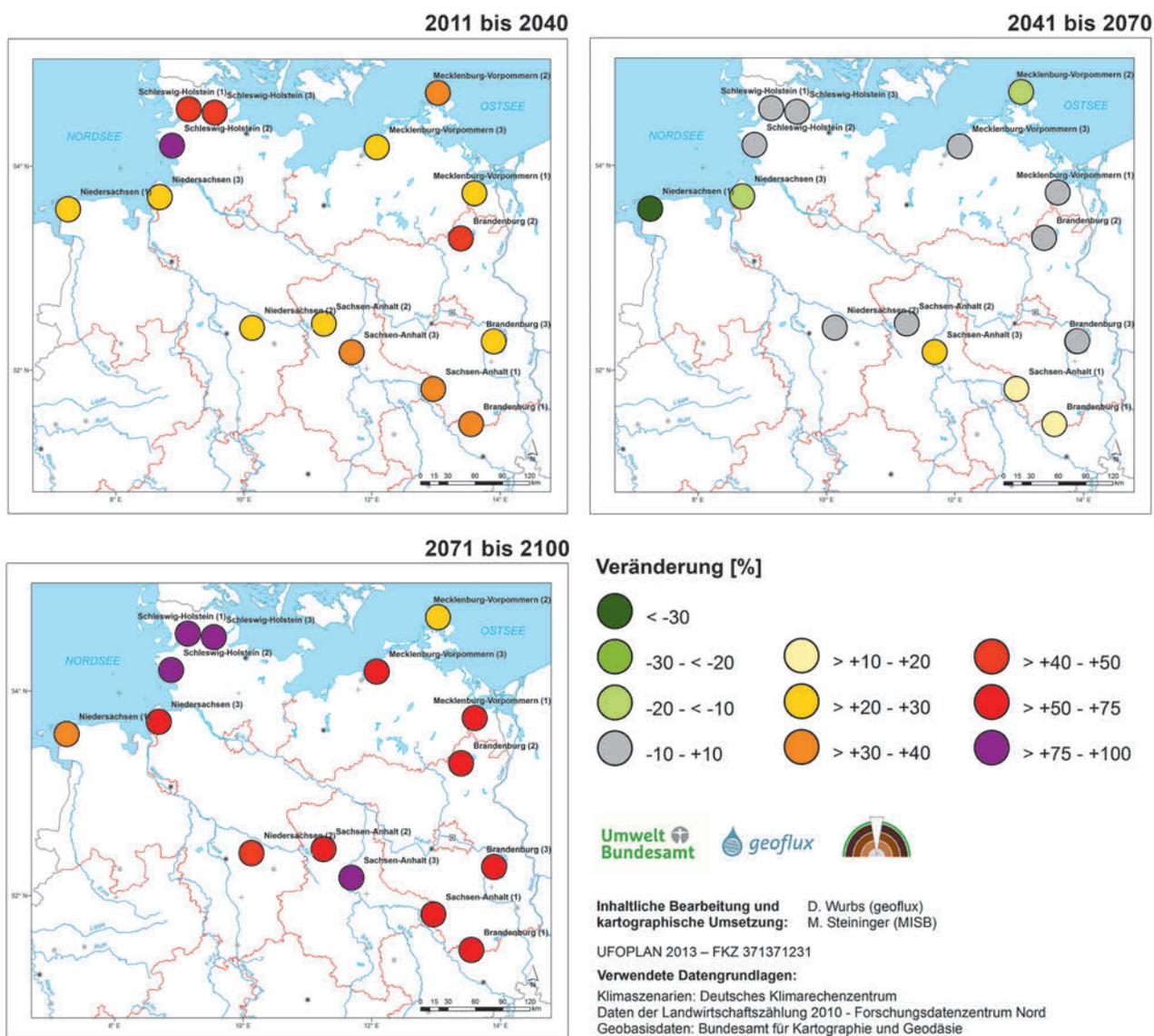
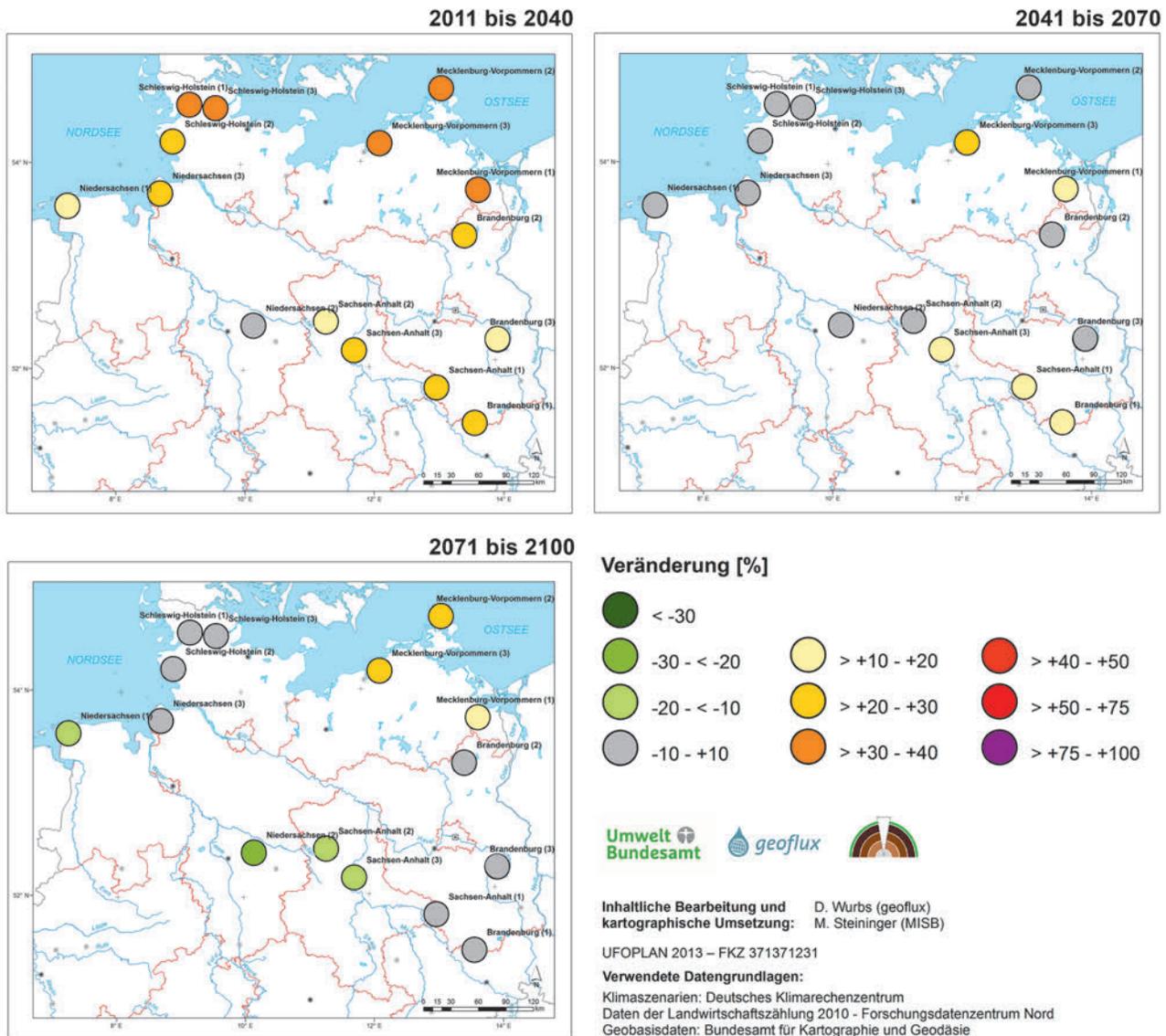


Abbildung 15:

Tendenzen der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten - Szenarium „worst case – 100 % Maisanbau“



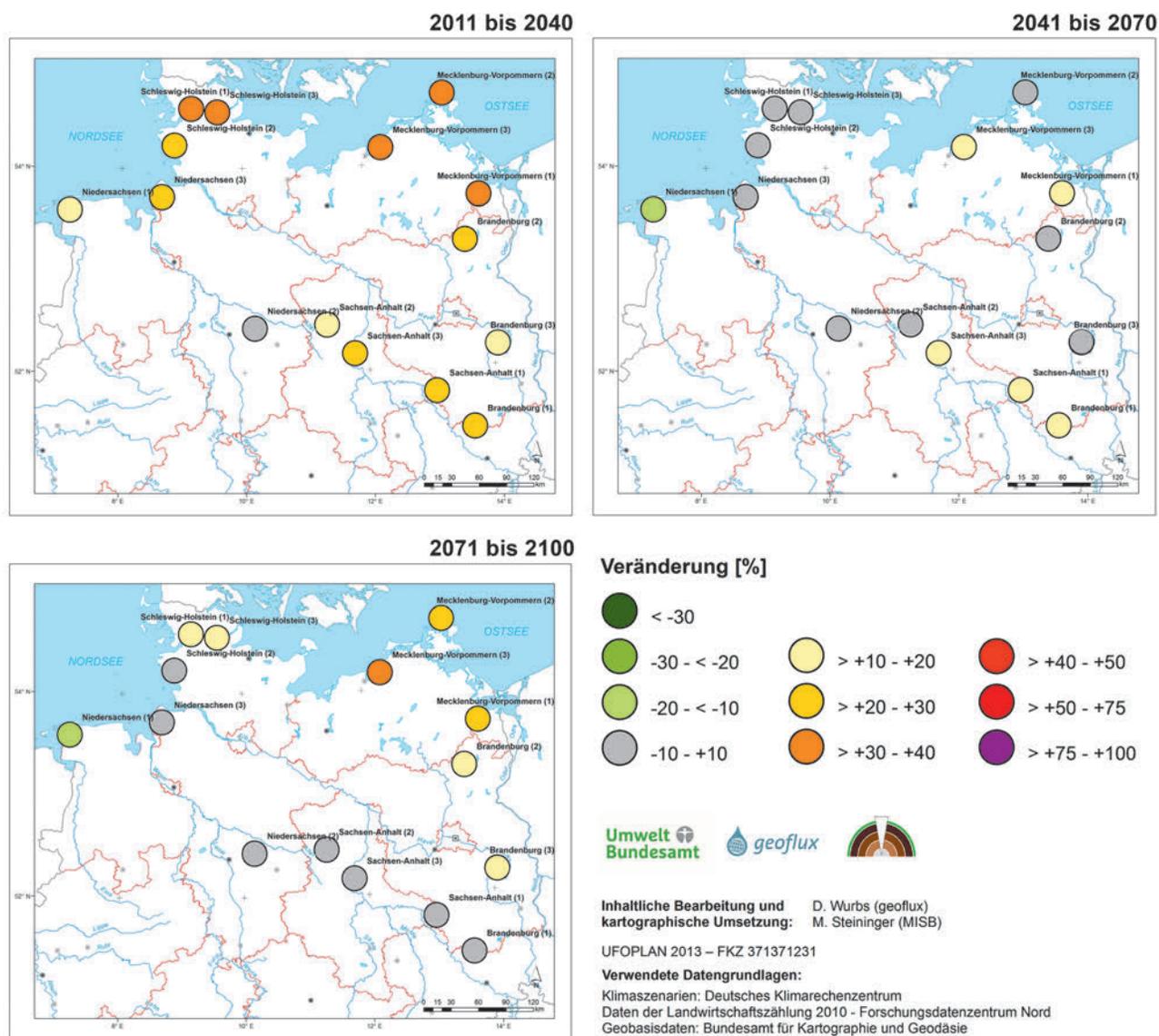
führt. Dennoch weist der Mais weiterhin das gegenüber Wintergetreide deutlich höhere Gefährdungsrisiko auf. Bei einem weiteren Anstieg der Maisanbauflächen ist auf diesen Standorten von einer entsprechenden Erhöhung des Erosionsrisikos auszugehen.

Die Auswertungen belegen, dass bei der Betrachtung der zukünftigen Erosionsgefährdung durch Wind eine

alleinige Berücksichtigung der natürlichen Gefährdung nicht ausreichend ist. Vielmehr ist es erforderlich, diese im Kontext zu derzeitigen oder zukünftig möglichen Fruchtartenzusammensetzungen und Anbauspektren zu bewerten. Die durchgeführten Szenarienanalysen zur fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung durch Wind liefern für die ausgewählten Modellgebiete mögliche Prognosen, um die Auswirkung der Bodenbedeckung auf den Bodenabtrag in ihren Randbedingungen abzubilden.

Abbildung 16:

Tendenzen der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten - Szenarium „Mittlere Anbauverhältnisse – 60 % Wintergetreide, 40 % Maisanbau“



5 Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zur Vorsorge und Gefahrenabwehr gegen Erosion durch Wind

5.1 Rechtliche und fachliche Grundlagen für die Erosionsbewertung

Bodenerosion stellt eine schädliche Bodenveränderung dar, wenn erhebliche Bodenabträge und -ablagerungen durch Wind auftreten (vgl. § 3 BBodSchV). Zentrale Grundlage für den Schutz des Bodens ist das **Bundesbodenschutzgesetz** (BBodSchG). Maßgebend für die landwirtschaftliche Nutzung sind die Grundsätze und Handlungsempfehlungen zur **guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung** nach § 17 des Bundes-Bodenschutzgesetzes. Sie enthalten konkretisierte Grundsätze und Handlungsempfehlungen zu § 17 BBodSchG. Diese Maßnahmen sind zum Schutz vor Bodenabträgen mittlerer Jährlichkeiten ausgerichtet.

Darüber hinaus greifen die **Cross-Compliance-Vorgaben** zur Erosionsminderung, die im Ersten Gesetz zur Änderung des Direktzahlungsverpflichtungsgesetzes (DirektZahlVerpflG) vom 04. November 2008 sowie der 2. Verordnung zur Änderung der Direktzahlungsverpflichtungsverordnung (DirektZahlVerpflV) vom 07. November 2008 verankert wurden. Demnach müssen seit dem 1. Juli 2010 Pflanzenbaumaßnahmen auf den Erosionsgefährdungsgrad der Böden ausgerichtet sein (BMELV 2009). Die hierfür erforderlichen Informationen über winderosionsgefährdete Flächen mussten die Bundesländer bis zum 30. Juni 2010 zur Verfügung stellen. Hierzu erfolgte die **Ausweisung der Gefährdungsklassen bezüglich Winderosion** nach dem Ansatz gemäß DIN 19706:2013-02 auf Feldblockebene. Im Falle der Eingruppierung des Feldblockes in die Gefährdungsstufe Enat5 liegt eine sehr hohe Winderosionsgefährdung vor und es sind folgende Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung der Winderosion zu ergreifen: Bei Aussaat vor dem 1. März ist der Pflugeinsatz erlaubt, Pflügen ab dem 1. März ist nur bei einer unmittelbar folgenden Aussaat, außer bei Reihenkulturen zulässig. Dies gilt nicht, falls vor dem 1. Dezember quer zur Hauptwindrichtung Grünstreifen im Abstand von höchstens 100 Metern zueinander und in einer Breite von jeweils mindestens 2,5 Metern eingesät werden sowie im Falle des Anbaus von Kartoffeln, soweit die Kartoffeldämme quer zur Hauptwindrichtung angelegt werden.

Für die bundesdeutsche Ebene liegen folgende Bewertungsgrundlagen zur Abschätzung der Erosionsgefährdung vor:

- ▶ Entwurf zur Abschätzung der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wind gemäß § 5 des Direktzahlungen-Verpflichtungen-Gesetzes vom 21.07.2008 (AK EROSION 2008)
- ▶ DIN 19706:2013-02 - Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wind.
- ▶ Einrichtung einer Arbeitsgruppe „Kartieranleitung Winderosion“ des ständigen Ausschusses „Vorsorgender Bodenschutz (BOVA)“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) im November 2012

5.2 Katalog und Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung pflanzenbaulicher, landeskultureller und agrarstruktureller Maßnahmen

Regelungsdefizite und Handlungsbedarf bestehen hingegen in der Bereitstellung bundesweit einheitlicher Empfehlungen an die Vorsorge und Gefahrenabwehr und in der Erarbeitung von Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen, um langfristig die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten.

Die Veröffentlichung **„Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz“** (AID 2015), erarbeitet von Experten aus Forschungseinrichtungen und Fachbehörden, befasst sich in ihrer 2. Auflage länderübergreifend mit der Vorsorge gegen Bodenverdichtung und Bodenerosion sowie zur Erhaltung des Humusgehaltes. Neben einer Sachstandsdarstellung zu Bedeutung, Verlauf und Einflussfaktoren der Winderosion werden mögliche Schäden durch Winderosionsereignisse, kategorisiert nach on-site- und off-site-Schäden, benannt. Umfassender gehen die Autoren auf Vorsorgemaßnahmen ein. Hier wird zwischen pflanzenbaulichen, boden- und landschaftsstrukturellen Maßnahmen und ihrer Wirksamkeit hinsichtlich Kurz-, Mittel oder Langfristigkeit unterschieden.

Auf **Länderebene** wurden vereinzelt Handlungsempfehlungen publiziert, die aus den Ergebnissen zur Einstufung der Bodenerosionsgefährdung gemäß § 5 des Direktzahlungen-Verpflichtungen-Gesetzes (AK EROSION 2008) erarbeitet wurden. Ziel war auch hier, die Prinzipi-

en der „Guten fachlichen Praxis“ der Landwirtschaft in Bezug auf Winderosion zu qualifizieren. Zusammenfassend lassen sich folgende Arbeiten benennen:

- ▶ **Schleswig-Holstein:** Duttmann, R., Hassenpflug, W., Bach, M., Lungershausen, U. und J.-H. Frank (2012): Winderosion in Schleswig-Holstein - Kenntnisse und Erfahrungen über Bodenverwehungen und Windschutz. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR) [Hrsg.].
- ▶ **Brandenburg:** Frielinghaus, M., Winnige, B., Deumlich, D., Funk, R., Schmidt, W., Thiere, J. und L. Völker (2002): Informationsheft zum landwirtschaftlichen Bodenschutz im Land Brandenburg – Teil Bodenerosion. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Raumordnung Brandenburg (MLUR) und Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) [Hrsg.].
- ▶ **Mecklenburg-Vorpommern:** Frielinghaus, M., Deumlich, D., Funk, R., Helming, K., Thiere, J., Völker, L. und B. Winnige (2002): Bodenerosion - Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG) [Hrsg.], 2. Auflage.
- ▶ **Sachsen-Anhalt:** Deumelandt, P., Kasimir, M., Steininger, M. und D. Wurbs (2014): Beratungsleitfaden Bodenerosion und Sturzfluten. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU) [Hrsg.].
- ▶ **Niedersachsen:** Bartelt, R., Brunotte, J., Dahlmann, I., Gunreben, M., Mosimann, T., Schäfer, W., Severin, K., Tharsen, J. und A. Thiermann (2003): Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen. Teil 1: Bodenerosion und Bodenversiegelung. - Nachhaltiges Niedersachsen, 23. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLO) [Hrsg.].

Die für **Sachsen-Anhalt** und **Niedersachsen** vorliegenden Grundlagen beinhalten schwerpunktmäßig das Thema „Erosion durch Wasser“ und betrachten nur

am Rande die Winderosion, vorwiegend die aktuelle Gefährdungssituation. Detaillierte Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen lassen sich aus den Arbeiten hingegen nicht ableiten.

Umfänglicher sind die Veröffentlichungen für Schleswig-Holstein, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Ein Autorenkollektiv (Duttmann u.a. 2012) beschreibt Geschichte, Ursachen, Verlauf und Folgen der Winderosion in **Schleswig-Holstein**. Weiterhin werden Gefährdungsgebiete ausgewiesen und erfasste Winderosionsereignisse dokumentiert. Inhaltlicher Schwerpunkt ist die Beschreibung von Wirkungen und ökologischen Funktionen durch Windschutzpflanzungen und Knicks. Vergleichbar mit der Veröffentlichung „Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz“ (AID 2015) werden Maßnahmenvorschläge, unterteilt nach Pflanzenbau, Bodenbearbeitung und Flurgestaltung, erläutert.

Unter fachlicher Federführung des ZALF Müncheberg (Frielinghaus u.a. 2002a, b) wurden die Beiträge zur Erosion durch Wasser und Wind für **Mecklenburg-Vorpommern** und **Brandenburg** erarbeitet. Neben der allgemeinen Sachstandsbeschreibung zu Ursachen, Einflussfaktoren, Folgen und räumlicher Bewertung der Winderosionsgefährdung werden allgemeingültige Aussagen zur Schutzwirkung von Einzelmaßnahmen getroffen.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die in den Arbeiten der Bundesländer dokumentierten Empfehlungen zu Schutzmaßnahmen gegenüber Winderosion in die Veröffentlichung „Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz“ (AID 2015) teilweise übernommen wurden.

Aus den vorliegenden Arbeiten wurde ein **Maßnahmenkatalog** erstellt. In Tabelle 3 sind Maßnahmen zur Verminderung der Erosionsgefährdung durch Wind aus den recherchierten Sachstandsberichten aufgeführt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit beschrieben. In Anlehnung an die Broschüre „Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz“ (AID 2015) wurde die Kategorisierung nach den Maßnahmenkomplexen Pflanzenbau, Landeskultur und Agrarstruktur vorgenommen.

Tabelle 3:

Übersicht zu Maßnahmen zur Verminderung der Erosionsgefährdung durch Wind

Kategorie	Maßnahme	Beschreibung und Wirkung
Pflanzenbau (kurzfristig wirkend)		
Bodenbearbeitung	Einsatz nichtwendender Bodenbearbeitungssysteme und Direktsaatverfahren	Stoppeln sind so lange wie möglich zu belassen. Deren Windschutzwirkung ist um ein Vielfaches höher als bei liegenden Ernteresten. Generell sind eine Verringerung des Pflugeinsatzes und dessen Ersatz durch konservierende Bodenbearbeitung, optimal in der gesamten Fruchtfolge, jedoch mindestens beim Anbau erosionsgefährdeter Fruchtarten anzustreben. Für diese ist der Einsatz von Direktsaatverfahren zu empfehlen. Die Mulchbedeckung sollte mindestens 25 % betragen. Auf erosionsgefährdeten Standorten ist auf ein feinkrümeliges Saatbett zu verzichten, die Bodenoberfläche sollte nach der Bodenbearbeitung so rau wie möglich sein.
	Änderung Bearbeitungsrichtung	Anpassung der Bearbeitungsrichtung bzw. bei Dammkulturen Anlage der Dämme quer zur Hauptwindrichtung führt zu einer deutlichen Erhöhung der Rauigkeit der Oberfläche.
Anbausysteme	Anpassung Fruchtfolge	Ein hoher Reihenabstand auf winderosionsgefährdeten Standorten ist zu vermeiden, falls keine konservierende Bodenbearbeitung oder Direktsaat möglich ist. Auf Sommerungen ist zu verzichten und verstärkt Winterungen oder mehrjähriges Futter in die Fruchtfolge einzubauen. Ziel ist ein möglichst ganzjährig hoher Bedeckungsgrad der Fläche. Möglichst sollte Herbstfurche zu Sommerungen durchgeführt werden oder eine Bodenbedeckung durch Mulch über den Winter ermöglicht werden.
	Anbau Zwischenfrucht	Durch den Anbau von Futter- oder Gründüngungspflanzen als Zwischenfrucht zwischen den Vegetationszeiten der Hauptkulturen, über Winter als abfrierende Fruchtarten, wird eine geschlossene Bodenbedeckung bereits im Spätsommer/Herbst und im Winterhalbjahr erreicht. Hierzu ist die Aussaat direkt nach Ernte der Hauptfrucht des Vorjahres unter Einsatz wassersparender Bestelltechnologien notwendig. Die Wirkung kann durch nichtwendende Bodenbearbeitung oder Direktsaatverfahren vor der Hauptfrucht noch erhöht werden.
	Einsaat Untersaat	Aussaat einer zusätzlichen 2. Frucht zur Hauptkultur. Die Untersaat kann als Gründüngung oder einige Zeit nach der Hauptfruchternte als Tierfutter genutzt werden. Sie dient ebenso wie der Zwischenfruchtanbau zur Verkürzung der Zeitspannen ohne Bodenbedeckung. Der Vorteil dieser Methode ist die erhöhte Bodenbedeckung bei großen Reihenabständen in der Phase bis zur vollständigen Bodenbedeckung durch die Hauptfrucht.

Kategorie	Maßnahme	Beschreibung und Wirkung
	Verbesserung Humusversorgung	Die Erhaltung und Verbesserung der Humusversorgung der Böden ist ein Ziel der „Guten fachlichen Praxis“. Gut mit Humus versorgte Standorte weisen ein gutes Bodengefüge auf und vermindern die Erosionsgefährdung. Die Humusversorgung kann durch vielfältige Maßnahmen gesichert und verbessert werden, so z.B. durch den Verbleib der Koppelprodukte auf dem Acker, dem Anbau von Zwischenfrüchten und von Untersaaten, die Einbindung von Ackergras und mehrjährigen Futterpflanzen in die Fruchtfolge, organische Dünger und durch konservierende Bodenbearbeitungssysteme.
	Anlage Erosionsschutzstreifen	Quer zur Hauptwindrichtung angelegte, parallel verlaufende Streifen mit einer jeweiligen Breite von ca. 30 bis 50 m. Angebaut werden im Wechsel erosionsmindernde und erosionsgefährdete Fruchtarten. Ziel ist die Schaffung einer Flächenheterogenität zur Minderung der Windgeschwindigkeiten an der Bodenoberfläche. Obwohl sich das System in anderen Ländern bewährt hat, wird es in Deutschland nur regional und in kleinem Umfang praktiziert.
Landeskultur (mittelfristig wirkend)		
Schutzpflanzung	Anlage Windschutzpflanzungen	Die Anlage erfolgt durch ein- bis dreireihige Windschutzpflanzungen quer zur Hauptwindrichtung. Zur Vermeidung von Düseneffekten sind Schlagauffahrten mit Gehölzstreifen zu versehen. Bei der Gehölzwahl ist darauf zu achten, dass die Durchströmbarkeit von unten nach oben zunimmt. Bewährt haben sich Pflanzungen aus Haupt- und Füllbaumarten sowie Sträuchern. Die Winddurchströmbarkeit muss 40 bis 50 % betragen. Optimal angelegte Windschutzpflanzungen bewirken eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit im Luv um das 5-fache der Endhöhe [m] und im Lee um das etwa 25-fache der Endhöhe [m]. Die Umsetzung bedarf der Flächenverfügbarkeit. Pflanzungen können durch Landwirte innerbetrieblich erfolgen, werden jedoch in der Regel überbetrieblich im Zuge von Flurneuordnungsverfahren angelegt.
	Anlage Agroforstsysteme	Agroforstsysteme stellen eine spezielle Form von Erosionsschutzstreifen dar. Es erfolgt ein Wechsel von Ackernutzung und Streifen mit Kurz-Umtriebsgehölzen. Die Breite der Ackernutzung richtet sich nach der Endhöhe der Gehölze (25-fache Endhöhe [m]). Die Gehölzstreifen sind so zu konzipieren, dass eine Staffelung der jährlichen Ernten bei Erhalt der Windschutzwirkung erfolgen kann.

Kategorie	Maßnahme	Beschreibung und Wirkung
Bodenmelioration	Kalkung	Humus und Kalk haben durch ihre Stabilisierungswirkung einen positiven Effekt auf das Bodengefüge. Bodenerosion, aber auch -verdichtungen, treten auf gut mit Kalk versorgten Flächen seltener auf. Durch den Landwirt ist eine optimale Kalkversorgung der Böden zu gewährleisten. Im Bedarfsfall sind Meliorationskalkungen durchzuführen.
Agrarstruktur (langfristig wirkend)		
Entwicklung ländlicher Raum	Flurneueordnung	In Regionen mit einer hohen Winderosionsgefährdung ist Erosionsschutz in der Regel nur überbetrieblich über eine Flurneueordnung umsetzbar. Durch Einsatz dieses Instrumentes ist sowohl die Anpassung der Schlaggestaltung und des landwirtschaftlichen Wegenetzes, die Konzipierung und Anlage eines Systems von Aufforstungen und Windschutzpflanzungen sowie die Umwidmung besonders winderosionsdisponierter Flächen aus der Ackernutzung möglich. Die Anwendung der Maßnahmen kann je nach Gefährdungssituation einzeln oder im Komplex erfolgen. Flurneueordnungsverfahren sind jedoch in der Regel sehr langwierig und bedürfen für den Fall, dass Erosionsschutzmaßnahmen umgesetzt werden sollen, einen planerischen Vorlauf einschließlich der Koordinierung mit den Landwirten. Zudem müssen zur Verbesserung der Wirksamkeit die Maßnahmen der Flurneueordnung dauerhaft durch pflanzenbauliche Schutzmaßnahmen untersetzt bzw. begleitet werden.
Flächennutzung	Nutzungsumwidmung	Standorte mit einer sehr hohen bis extremen Erosionsgefährdung sollten aus der ackerbaulichen Nutzung in Dauergrünland oder Aufforstung umgewidmet werden, um so eine dauerhafte Bodenbedeckung zu gewährleisten. Da dies auch auf innerbetrieblicher Ebene erfahrungsgemäß schwer umsetzbar ist, wird diese Schutzmaßnahme in der Regel nicht singulär, sondern meist als Bestandteil eines Flurneueordnungsverfahrens Umsetzung finden.
	Schaffung von Biotopen	Umfasst die Anlage von begrasten Feldrainen, Ackerrandstreifen, Blühstreifen oder im Komplex die Schaffung eines Biotopverbundes mit dem Ziel, die Windschutzwirkung in den betroffenen Flächen zu verbessern. Die Umsetzung erfolgt meist über spezielle Förderprogramme bzw. im Zuge von Flurneueordnungsverfahren.

Quellen: AID (2015), Duttman u.a. (2012), Frielinghaus u.a. (2002a, b) - verändert

Um schädliche Bodenveränderungen zu vermindern und zukünftig zu vermeiden sind aus den Maßnahmenempfehlungen **Handlungsempfehlungen** abzuleiten, welche der Gefahrenabwehr aufgrund von Bodenerosion durch Wind dienen. Derartige Handlungsempfehlungen für die Praxis existieren bisher nicht. Ein Ziel könnte es sein, sich an der in **Sachsen-Anhalt** und **Mecklenburg-Vorpommern** praktizierten Vorgehensweise für die Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen aufgrund von Bodenerosion durch Wasser zu orientieren.

In **Sachsen-Anhalt** verfasste das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt (MLU) 2012 einen Runderlass „Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen aufgrund von Bodenerosion durch Wasser auf landwirtschaftlich genutzten Flächen“ (MLU 2012). Darin ist festgelegt, dass bei Bestehen von Anhaltspunkten für

schädliche Bodenveränderungen aufgrund von Bodenerosion durch Wasser diese sowie weitere erforderliche Informationen im Rahmen einer orientierenden Untersuchung zu erfassen sind. Im weiteren Vorgehen können Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zur Anwendung kommen. Des Weiteren werden im Vorfeld von Flurbereinigungsverfahren Voruntersuchungen zur Erarbeitung eines Entwicklungskonzeptes für die Anpassung der Bodennutzung, Bodenbearbeitung, Schlaggestaltung und der Landeskultur als Vorplanung zur Problemanalyse und zur Definition von Handlungsfeldern durchgeführt.

Die Adaption dieser Vorgehensweise auf das Problemfeld „Bodenerosion durch Wind“ wäre eine wirksame Handlungsoption, Schutzmaßnahmen zur Gefahrenabwehr bei Winderosion auf landwirtschaftlichen Flächen auch planungsseitig zu begleiten.

6 Literatur

- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5).- 5. Auflage, Hannover.
- AID – Infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e.V. (2015): Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz, 2.Auflage. Bonn.
- AK Erosion – AK Erosionsgefährdungsabschätzung (2008): Entwurf zur Abschätzung der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wind gemäß § 5 des Direktzahlungen-Verpflichtungen-Gesetzes. 21.07.2008 (unveröff.).
- Bartelt, R., Brunotte, J., Dahlmann, I., Gunreben, M., Mosimann, T., Schäfer, W., Severin, K., Tharsen, J. und A. Thiermann (2003): Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen. Teil 1: Bodenerosion und Bodenversiegelung. - Nachhaltiges Niedersachsen, 23. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLO), Hannover.
- BfN - Bundesamt für Naturschutz [Hrsg.] (2008): Daten zur Natur 2008.- Landwirtschaftsverlag, 10-11, Münster.
- Böhner, J., Schäfer, W., Conrad, O., Groß, J. and A. Ringeler (2003): The WEELS Model: methods, results and limits of wind erosion modelling. - *Catena* (52), 3-4.
- Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L. and P. Panagos (2016): A new assessment of soil loss due to wind erosion in european agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. - *Land degradation & development*, 2588.
- BMELV (2009): Änderung der Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung vom 27. Februar 2009. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin.
- Deumelandt, P., Kasimir, M., Steininger, M. und D.Wurbs (2014): Beratungsleitfaden Bodenerosion und Sturzfluten. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU) [Hrsg.], Magdeburg.
- DIN 19706:2013-02 (2013): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wind. Beuth Verlag, Berlin.
- Duttmann, R., Hassenpflug, W., Bach, M., Lungershausen, U. und J.-H. Frank (2012): Winderosion in Schleswig-Holstein - Kenntnisse und Erfahrungen über Bodenverwehungen und Windschutz. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR) [Hrsg.], Flintbek.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2011): Deutscher Klimaatlas. http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html.
- Frielinghaus, M., Winnige, B., Deumlich, D., Funk, R., Schmidt, W., Thiere, J. und L.Völker (2002a): Informationsheft zum landwirtschaftlichen Bodenschutz im Land Brandenburg – Teil Bodenerosion. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Raumordnung Brandenburg (MLUR) und Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) [Hrsg.], Potsdam.
- Frielinghaus, M., Deumlich, D., Funk, R., Helming, K., Thiere, J., Völker, L. und B. Winnige (2002b): Bodenerosion - Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG) [Hrsg.], 2.Auflage, Schwerin.
- Fryrear D.W., Bilbro J.D., Saleh A., Schomberg H., Stout J.E. and Zobeck T.M. (2000): RWEQ: improved wind erosion technology. - *Journal of Soil and Water Conservation*, 55, 183–189.
- Funk, R. (2015): Winderosion in Brandenburg - Bodendegradierung und Bodenschutz. – Bodenschutztag am 04.06.2015, Paulinenaue.
- Funk, R. & L. Voelker (1998): Einschätzung der potentiellen Winderosionsgefährdung in Mecklenburg-Vorpommern im Landesmaßstab mit der Revised Wind Erosion Equation. - *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 88, 557-560.
- Hagen L.J. (2004): Evaluation of the Wind Erosion Prediction System (WEPS) erosion submodel on cropland fields. – *Environmental Modelling & Software*, 19, 171–176.
- Hollweg, H.D., Böhm, U., Fast, I., Hennemuth, B., Keuler, K., Keup-Thiel, E., Lautenschlager, M., Legutke, S., Radtke, K., Rockel, B., Schubert, M., Will, A., Woldt, M. and C. Wunram (2008): Ensemble Simulations over Europe with the Regional Climate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios. M & D Technical Report 3.
- Meinke, I. und E.-M. Gerstner (2009): Digitaler Norddeutscher Klimaatlas informiert über möglichen künftigen Klimawandel. - *DMG Mitteilungen*, 3-2009, 17.
- MLU - Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (2012): Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen aufgrund von Bodenerosion durch Wasser auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. - RdErl. des MLU vom 9.8.2012 – 24.6/67131. Magdeburg.

Norddeutsches Klimabüro (2009): Norddeutscher Klimaatlas. <http://www.norddeutscher-klimaatlas.de>.

Schäfer, W., Sbresny, J. und A. Thiermann (2010): Methodik zur Einteilung von landwirtschaftlichen Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wind gemäß § 2 Abs. 1 der Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung in Niedersachsen. - Schriftenreihe des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, Hannover.

Schwertmann, U., Vogl, W. und M.Kainz (1990): Bodenerosion durch Wasser. - 2. Aufl., Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

Shao, Y. (2008): Physics and modelling of wind erosion. Springer, Cologne.

Thiere, J., Altermann, M., Lieberoth, I. und D. Rau (1991): Zur Beurteilung landwirtschaftlicher Nutzflächen nach technologisch wirksamen Standortbedingungen. - Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkunde, 35 (1991), 3, 171-183, Berlin.

UBA (2011): Themenblatt: Anpassung an den Klimawandel – Boden. Umweltbundesamt/Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung, Dessau-Roßlau.

Woodruff, N. P. and F. H. Siddoway (1965): A wind erosion equation. - Soil Sci. Soc. Am. porc., 29, 602-608.

Wurbs, D. und M.Steininger (2017): Bundesweite Gefährdung der Böden durch Winderosion und Bewertung der Veränderung infolge des Wandels klimatischer Steuergrößen als Grundlage zur Weiterentwicklung der Vorsorge und Gefahrenabwehr im Bodenschutzrecht. - UBA-Texte, 13/2017. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Youssef, F., Visser, S., Karssenberg, D., Bruggeman, A. and G.Erpul (2012): Calibration of RWEQ in a patchy landscape; a first step towards a regional scale wind erosion model. - Aeolian Research 3, 467– 476.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Am Ackerrand akkumulierter Lössboden	7
Abbildung 2:	Fließschema zur Ermittlung der Erosionsgefährdung durch Wind nach DIN 19706:2013-02 (DIN 2013) und Cross-Compliance-Vorgaben (AK EROSION 2008)	9
Abbildung 3:	Natürliche Erosionsgefährdung durch Wind auf ackerbaulich genutzten Böden	10
Abbildung 4:	Schema zur Ermittlung der Schutzwirkungsstufen von Windhindernissen	11
Abbildung 5:	Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wind auf ackerbaulich genutzten Böden	12
Abbildung 6:	Einstufung der Schutzwirkung von Fruchtarten bei konventioneller Bodenbearbeitung	13
Abbildung 7:	Anteil ackerbaulich genutzter Flächen in den Naturräumen	15
Abbildung 8:	Anteil Wintergetreide an den Fruchtarten in den Naturräumen	16
Abbildung 9:	Maisanteil an den angebauten Fruchtarten in den Naturräumen	17
Abbildung 10:	Lage und Gefährdungseinstufung der Modellgebiete	19
Abbildung 11:	Tendenzen der zukünftigen natürlichen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten	21
Abbildung 12:	Mittlerer jährlicher Bodenabtrag in den Modellgebieten für verschiedene Fruchtartenszenarien – Referenzperiode 1971 - 2000	22
Abbildung 13:	Tendenzen der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten - Szenarium „Fruchtartenzusammensetzung - Ist“	23
Abbildung 14:	Tendenzen der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten - Szenarium „Ganzjährige Bodenbedeckung - Wintergetreide“	24
Abbildung 15:	Tendenzen der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten - Szenarium „worst case – 100 % Maisanbau“	25
Abbildung 16:	Tendenzen der fruchtartenabhängigen Erosionsgefährdung in den Modellgebieten - Szenarium „Mittlere Anbauverhältnisse – 60 % Wintergetreide, 40 % Maisanbau“	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	On- und offsite Effekte der Winderosion	8
Tabelle 2:	Bundesweite Anbauflächen der wesentlichen Fruchtartengruppen	14
Tabelle 3:	Übersicht zu Maßnahmen zur Verminderung der Erosionsgefährdung durch Wind	29

Abkürzungsverzeichnis

ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchG	Bundesbodenschutzverordnung
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BÜK	Bodenübersichtskarte
BOVA	Ständiger Ausschuss „Vorsorgender Bodenschutz“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO)
BMELV	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
CC	Cross Compliance
FDZ	Forschungsdatenzentrum
KA5	Bodenkundliche Kartieranleitung, 5.Auflage
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
MMK	Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung
RWEQ	Revised Wind Erosion Equation
UBA	Umweltbundesamt
VERMOST	Vergleichsmethode Standort
WEQ	Wind Erosion Equation
ZALF	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung Müncheberg





► **Diese Broschüre als Download**
<http://bit.ly/2dowYYI>

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt