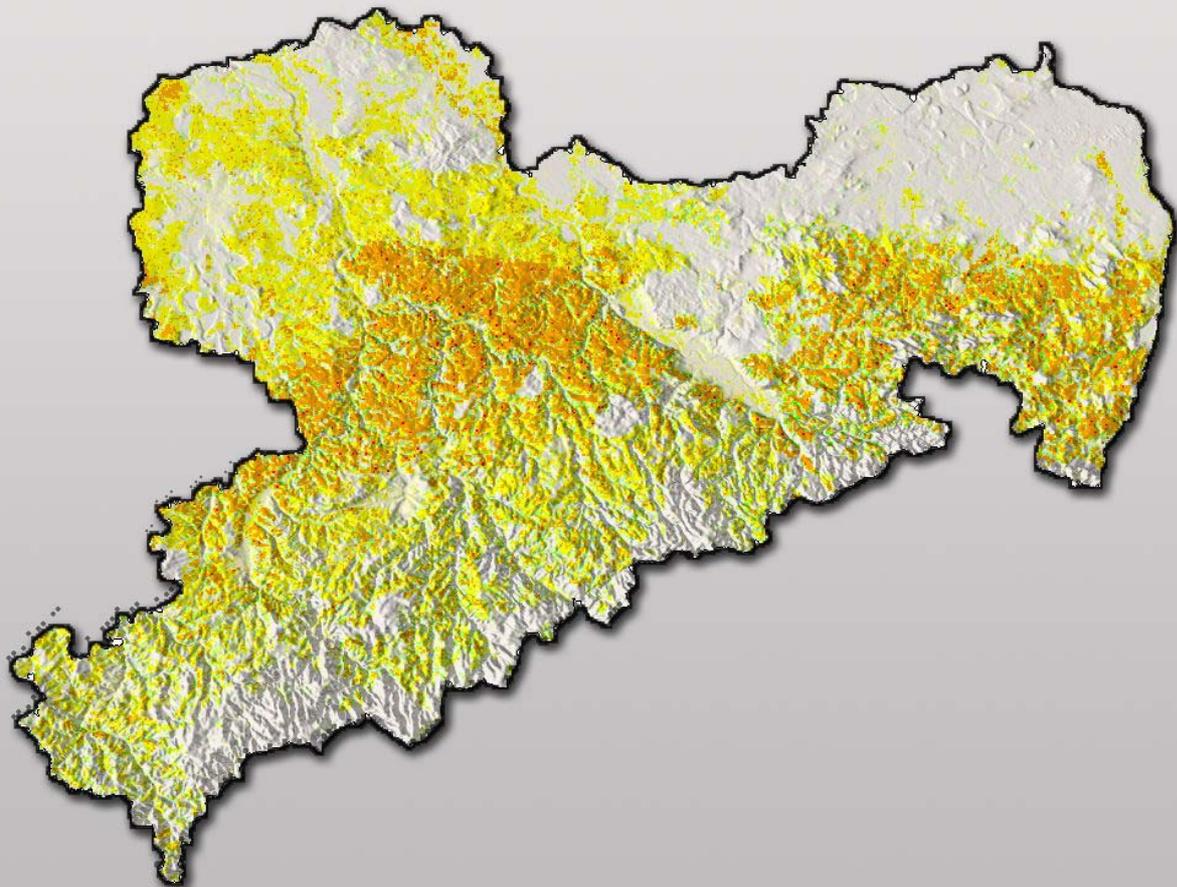




Erosion 3D Sachsen

Schriftenreihe, Heft 9/2010



**Flächendeckende Abbildung der Bodenerosion durch Wasser für Sachsen unter
Anwendung des Modells Erosion 3D**

Marcus Schindewolf, Dr. Walter Schmidt

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Arbeitsziele des Forschungsvorhabens	9
1.1	Wissenschaftliche Arbeitsziele	10
1.2	Technische Arbeitsziele	10
1.3	Ergebnisverwertung	11
2	Software.....	11
2.1	EROSION 3D.....	11
2.2	Datenbankprozessor DPROC	14
3	Material und Methoden	15
3.1	Datengrundlagen	15
3.1.1	Geobasisdaten.....	15
3.1.2	Abgeleitete Daten	16
4	Methoden	19
4.1	Datenverarbeitung	19
4.1.1	Aufbereitung der Flächendaten.....	20
4.1.2	Interaktive Flächenauswahl und automatischer Datenzuschnitt.....	23
4.2	Ergänzung und Korrektur der DPROC-Datenbank	25
4.2.1	Ergänzung der DPROC-Datenbank durch Daten aus Beregnungsversuchen	25
4.2.2	Ergänzung der DPROC-Datenbank mit Daten anderer Untersuchungen	34
4.2.3	Korrekturmaßnahmen	34
4.2.4	Interne Korrekturen und Schaffung neuer Nutzungs-IDs	36
5	Ergebnisse.....	36
5.1	Geobasisdaten.....	36
5.1.1	Reliefdaten.....	36
5.1.2	Landnutzungsdaten.....	38
5.1.3	Bodendaten.....	40
5.1.4	Andere Flächendaten.....	41
5.2	Ergänzung und Korrektur der DPROC-Datenbank	42
5.2.1	Ergänzung der DPROC-Datenbank mit selbst ermittelten Daten.....	42
5.2.2	Flächen dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung	48
5.2.3	Direktsaatflächen	53
5.2.4	Korrekturmaßnahmen	55
5.2.5	Schaffung neuer Nutzungs-ID´s	57
5.3	Simulationsrechnungen.....	57
5.3.1	Parametrisierungsschritte am Beispiel eines Teilgebietes (EZG Saidenbachtalsperre).....	57
5.3.2	Parametrisierungsschritte zur flächendeckenden Modellanwendung für Sachsen	74
5.3.3	Identifizierung der Gefährdungsflächen	75
5.3.4	Identifizierung gefährdeter Gewässerabschnitte	75
5.4	Szenarienrechnung	75

5.4.1	Worst-Case-Szenario.....	75
5.4.2	Ist-Stand-Szenario	87
5.5	Diskussion.....	93
6	Zusammenfassung und Fazit.....	97
7	Quellenverweis.....	99
8	Glossar.....	105
9	Abkürzungsverzeichnis.....	108
10	Anhang.....	109

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ein- und Ausgabeparameter von EROSION 3D	13
Tabelle 2:	Ermittlung der Modelleingangsdaten.....	29
Tabelle 3:	Untersuchungsflächen zur Datenermittlung	32
Tabelle 4:	Validierungsstandorte	33
Tabelle 5:	Primärinformation und Kategorien der DPROC-Datenbankabfrage.....	34
Tabelle 6:	Fehlerhafte Einzugsgebiete und Korrekturmaßnahmen.....	41
Tabelle 7:	Änderung der Skinfaktoren für konservierende Bodenbearbeitung (Grubber, Winterweizen, Ut4).....	52
Tabelle 8:	Änderung der Erosionswiderstände für konservierende Bodenbearbeitung (Grubber, Winterweizen, Ut4)	53
Tabelle 9:	Änderung der Skinfaktoren für Direktsaat (Winterweizen, Ut4).....	54
Tabelle 10:	Änderung der Erosionswiderstände für Direktsaat.....	55
Tabelle 11:	Übersetzung neuer InVeKoS-Nutzungen in DPROC-Objekte.....	57
Tabelle 12:	Klassifizierung der Erosions- und Depositionsgefährdung der Feldblöcke	75
Tabelle 13:	Statistische Auswertung des Worst-Case-Szenarios auf Landesebene Sachsen..	78
Tabelle 14:	Mittlerer Bodenabtrag der Bodenregionen	81
Tabelle 15:	Statistische Auswertung der von Erosion gefährdeten Ackerlandfeldblöcke der Bodenregionen (geordnet nach anteiliger Erosionsgefährdung der Ackerlandfeldblöcke).....	83
Tabelle 16:	Sedimenteintragsgefährdung sächsischer Einzugsgebiete (West nach Ost, ohne Sortierung)	84
Tabelle 17:	Statistische Auswertung des Ist-Stands-Szenarios.....	90

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Arbeitsweise des Datenbankprozessors DPROC	14
Abbildung 2:	Reliefaufbereitung zur verbesserten Abbildung der Wasser- und Stoffflüsse	20
Abbildung 3:	Oberliegerableitung im DPROC	24
Abbildung 4:	Abhängigkeit des Sedimentaustrages von der erosiven Hanglänge	26
Abbildung 5:	Aufbau der Berechnungsanlage	27
Abbildung 6:	Kalibrierung der Infiltrationsrate über den Skinfaktor	29
Abbildung 7:	Untersuchungsstandorte und Bodenregionen.....	31
Abbildung 8:	Flächenhafte Verteilung der Höhenklassenunterschiede im korrigierten DGM (Digitales Geländemodell).....	37
Abbildung 9:	Flächenhafte Verteilung der Neigungsklassenunterschiede im korrigierten DGM (Digitales Geländemodell).....	37
Abbildung 10:	Vorfluterableitung ohne und mit DGM Korrektur im Bereich des Langen Grabens oberhalb der Mündung Niederauer Dorfbach östlich von Meißen	38
Abbildung 11:	Flächenanteile der korrigierten DPROC-Objektgruppen des ATKIS-DLM	39
Abbildung 12:	Flächenanteile abgeleiteter DPROC-Objektgruppen aus der InVeKoS-Datenbank	39
Abbildung 13:	Flächenanteile der Mulchsaatflächen in Sachsen	40
Abbildung 14:	Flächenanteile ergänzter Polygone des Bodenatlas Sachsen	41
Abbildung 15:	Abflussvolumenstrom und Sedimentmassenstrom in einer Berechnungs- simulation	42
Abbildung 16:	Zusammenhang zwischen Sedimentmassenstrom mit und ohne Input von Zuschusswasser, potenzielle Anpassung	43
Abbildung 17:	Zusammenhang zwischen Oberflächenrauigkeit und Bodenbedeckung.....	44
Abbildung 18:	Zusammenhang zwischen Sedimentmassenstrom und Abflussvolumenstrom	44
Abbildung 19:	Ergebnisse der Methodvalidierung auf den Testflächen des Bodenerosions- messprogramms von 1994 - 1996 für den Parameter Erosionswiderstand	46
Abbildung 20:	Ergebnisse der Methodvalidierung auf den Testflächen des Bodenerosionsmessprogramms von 1994 - 1996 für den Parameter Skinfaktor ..	47
Abbildung 21:	Ergebnisse der Methodvalidierung auf den Testflächen des Bodenerosionsmessprogramms von 1994 - 1996 für den Parameter Oberflächenrauigkeit	48
Abbildung 22:	Vergleich der neu ermittelten Messwerte mit den Daten des Parameterkataloges Sachsen für den Parameter Skinfaktor	49
Abbildung 23:	Vergleich der Endinfiltrationsraten für verschiedene Bodenbearbeitungsformen...	49
Abbildung 24:	Vergleich der neu ermittelten Messwerte mit den Daten des Parameter- kataloges Sachsen für den Parameter Erosionswiderstand	50
Abbildung 25:	Vergleich der neu ermittelten Messwerte mit den Daten des Parameterkataloges Sachsen für den Parameter Oberflächenrauigkeit	51

Abbildung 26:	Zusammenhang zwischen Skinfaktoren, die auf ursprünglichen und korrigierten Infiltrationsalgorithmen basieren für die Gesamtstichprobe (n = 118)	56
Abbildung 27:	Empirisch korrigierte Skinfaktoren verschiedener Untersuchungen mit unvollständigen Eingangsdatensätzen.....	56
Abbildung 28:	Menü zur Ableitung der Oberliegerezugsgebiete im Programm DPROC	58
Abbildung 29:	Menü zur Definition des Gebietsausschnittes	59
Abbildung 30:	Menü zur Definition des Datums	60
Abbildung 31:	Menü zur Ableitung des DGM-Rasters	61
Abbildung 32:	Menü zur Ableitung des ATKIS-DLM-Polygonrasters	62
Abbildung 33:	Menü zur Ableitung des ATKIS-DLM-Linienrasters.....	62
Abbildung 34:	Menü zur Filterung von ATKIS-DLM-Objekten.....	63
Abbildung 35:	Menü zur Änderung der ATKIS-Übersetzung, Saatbettzustand für alle Ackerflächen.....	64
Abbildung 36:	Menü zur Ableitung der InVeKoS-Geometrien.....	65
Abbildung 37:	Menü zur Ableitung der InVeKoS-Sachdaten.....	65
Abbildung 38:	Menü zur Erstellung des Landnutzungsrasters bei hierarchischer Sortierung der Eingangsraster.....	66
Abbildung 39:	Menü zur Ableitung des Bodenatlas Sachsen - Rasters	67
Abbildung 40:	Menü zur Erstellung anderer Raster	68
Abbildung 41:	Menü zur Erstellung anderer Raster	69
Abbildung 42:	Menü zur Definition der Landnutzungsparameter	70
Abbildung 43:	Menü zur Definition der Bodenparameter	71
Abbildung 44:	Menü zur Erstellung des E3D-Reliefdatensatzes.....	72
Abbildung 45:	Menü zum Laden des Boden-/Landnutzungsdatensatzes	72
Abbildung 46:	Menü zum Laden der Niederschlagsinformation.....	73
Abbildung 47:	Ergebnisdarstellung der Erosionsmodellierung (Ist-Stand-Szenario).....	73
Abbildung 48:	Erosion und Deposition für das Worst-Case-Szenario auf Landesebene	77
Abbildung 49:	Erosionsgefährdung der Bodenregionen	80
Abbildung 50:	Erosionsgefährdung der Feldblöcke	82
Abbildung 51:	Sedimenteintragssummen in Oberflächengewässer.....	85
Abbildung 52:	Sedimentausträge der Einzugsgebiete	86
Abbildung 53:	Sedimenteinträge in Oberflächengewässer	88
Abbildung 54:	Erosion und Deposition für das Ist-Stand-Szenario	89
Abbildung 55:	Plausibilitätsprüfung der Ist-Stand-Simulation (Kulturarten- und Bearbeitungsgrenzen).....	91
Abbildung 56:	Plausibilitätsprüfung der Ist-Stand-Simulation (Szenarienunterschiede).....	92
Abbildung 57:	Vergleich der Erosionssimulation der Modelle EROSION 3D und PESERA.....	96

Anhangsverzeichnis

Tabelle A 1:	Gelöschte ATKIS-DLM-Objektgruppen	109
Tabelle A 2:	Änderung der Skinfaktoren für konventionelle Bodenbearbeitung (Winterweizen, Ut4)	110
Tabelle A 3:	Änderung der Erosionswiderstände für konventionelle Bodenbearbeitung (Winterweizen, Ut4)	111
Tabelle A 4:	Statistische Auswertung der von Deposition gefährdeten Ackerlandfeldblöcke der Bodenregionen (sortiert nach anteiliger Depositionsgefährdung der Ackerlandfeldblöcke).....	114
Tabelle A 5:	Vorgefertigtes Geo-Basisraster	115
Abbildung A 1:	Zusammenhang zwischen Skinfaktoren, die auf ursprünglichen und korrigierten Infiltrationsalgorithmen basieren für die Klasse 0.001 - 0.1 (n = 7)	111
Abbildung A 2:	Zusammenhang zwischen Skinfaktoren, die auf ursprünglichen und korrigierten Infiltrationsalgorithmen basieren für die Klasse 0.1-1 (n=34)	112
Abbildung A 3:	Zusammenhang zwischen Skinfaktoren, die auf ursprünglichen und korrigierten Infiltrationsalgorithmen basieren für die Klasse 1 - 10 (n = 59)	112
Abbildung A 4:	Zusammenhang zwischen Skinfaktoren, die auf ursprünglichen und korrigierten Infiltrationsalgorithmen basieren für die Klasse 10 - 100 (n = 18)	113

1 Anlass und Arbeitsziele des Forschungsvorhabens

Erosionsschutz ist sowohl unter dem Gesichtspunkt der langfristigen Erhaltung der Ressource Boden als auch im Hinblick auf die Vermeidung von Off-Site-Schäden ein zentrales Anliegen des vorsorgenden Bodenschutzes. Im Zusammenhang mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) gewinnt die Planung und Umsetzung von Erosionsschutzmaßnahmen auf Einzugsgebietsebene zunehmend an Bedeutung. Erosionsbedingte Bodenverluste und damit verbundene Stoffeinträge in Oberflächengewässer können durch Anpassung der Bewirtschaftung und Maßnahmen der Flurgegestaltung erheblich minimiert oder gänzlich vermieden werden. Die effektive Planung und Bemessung derartiger Maßnahmen setzt jedoch voraus, dass die erosiven Stofftransporte in ihrer räumlichen und zeitlichen Verteilung möglichst genau beschrieben und die vorgesehenen Maßnahmen in ihrer Einzelwirkung, aber auch in ihren Wechselwirkungen und Synergieeffekten geprüft und aufeinander abgestimmt werden können. Erster Schritt der Maßnahmenplanung ist die Identifikation erosionsgefährdeter Flächen und Feststoffeintragspfade in Gewässer. Mit der Software EROSION 3D steht dafür in Sachsen ein umfangreich erprobtes Werkzeug für die Erosionssimulation zur Verfügung. Der eigens dafür entwickelte Datenbankprozessor (DPROC) ermöglicht die automatische Erstellung von Parameterdateien für das Modell EROSION 3D durch die Verknüpfung von Primärinformation aus Geo-Basisdaten (digitale Relief-, Boden- und Landnutzungsdaten) und den Bodeneingangsparametern einer relationalen Datenbank.

Der routinemäßigen Nutzung des Modells steht der oft große zeitliche und finanzielle Aufwand für die Datenbeschaffung und -generierung entgegen. Aufgrund der jeweils unterschiedlichen Basisdaten sind die bereits mit EROSION 3D erzeugten Simulationen untereinander nur sehr eingeschränkt vergleichbar.

Ziel des Vorhabens war es daher, die Bodenerosion durch Wasser unter Anwendung des Modells EROSION 3D flächendeckend für Sachsen abzubilden. Mit der damit verbundenen Erstellung eines landesweiten einheitlichen Basisdatensatzes sollte die Möglichkeit geschaffen werden, zukünftig die Wirkungen von Landschaftseingriffen und Landnutzungsänderungen, bei langfristiger Betrachtung auch die Effekte regionaler Klimaänderungen auf Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Sedimenteintrag in Gewässer schnell und unkompliziert abschätzen zu können.

Daraus ergaben sich folgende Teilziele für das Projekt:

- Erstellung eines sachsenweiten Basisdatensatzes auf Grundlage offizieller Geo-Basisdaten (digitale Relief-, Boden- und Landnutzungsdaten) zur Durchführung schneller ereignisbezogener Erosionssimulationen,
- Erweiterungen der Parametrisierungssoftware (DPROC) um eine interaktive Flächenauswahl mit gleichzeitigem Datenzuschnitt zur Verringerung des Parametrisierungsaufwandes,
- Verbesserte Abbildung der Wirkungen der langjährig konservierenden Bodenbearbeitung auf den Infiltrationsprozess und die Partikelablösung durch experimentelle Datenerhebungen,

- Konzeptentwicklung zur Erweiterung und Korrektur der DPROC-Datenbank,
- Flächendeckende Bodenabtragssimulation mit EROSION 3D.

Im Juli 2007 wurde das Vorhaben 'Flächendeckende Abbildung der Bodenerosion durch Wasser für Sachsen unter Anwendung des Bodenerosionsmodells EROSION 3D' von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft an die TU Bergakademie Freiberg vergeben. In dem Vorhaben arbeiteten im Zeitraum August 2007 bis September 2009 folgende Einrichtungen zusammen:

- Fachgebiet Boden- und Gewässerschutz der TU Bergakademie Freiberg (Wissenschaftliche Leitung und Koordination, Aufarbeitung der GIS-Daten, experimentelle Parametererfassung, Grundlagendatenerarbeitung, Datenbankerweiterung, Parametrisierung, Simulation),
- Fa. GeoGnostics Boden- und Gewässerschutz, Berlin (Erweiterung des Datenbankprozessors DPROC).

1.1 Wissenschaftliche Arbeitsziele

Die wissenschaftlichen Arbeitsziele des Vorhabens waren:

- Konzepterstellung für die interaktive Gebietsauswahl und den automatischen Flächenzuschnitt im Datenbankprozessor DPROC zur Vereinfachung der Parametrisierung des Modells EROSION 3D
- Prüfung der Geo-Basisdaten (digitale Relief-, Boden- und Landnutzungsdaten) auf Vollständigkeit und Qualität zur Weiterverwendung für die Parameterableitung im DPROC
- Prüfung der InVeKoS-Feldblockdaten und Mulchsaatmaßnahmeanträge des Förderprogramms „Umweltgerechte Landwirtschaft“ (UL) des Jahres 2006 auf die Möglichkeit, die reale Kulturarten- und Bodenbearbeitungsverteilung abzubilden
- Erarbeiten von Lösungswegen zur Behebung von Datenlücken in den Geo-Basisdaten
- Methodische Weiterentwicklung zur experimentellen Ermittlung erosionsrelevanter Bodenparameter auf dauerhaft konservierend bearbeiteten Flächen und Direktsaatflächen mittels Beregnungssimulationen
- Durchführung und Auswertung von Beregnungsversuchen zur Ermittlung erosionsrelevanter Bodenparameter für die DPROC-Datenbank
- Konzepterstellung zur Korrektur und Pflege der DPROC-Datenbank.

1.2 Technische Arbeitsziele

Die technischen Arbeitsziele des Vorhabens waren:

- Aufbereitung der flächendeckend verfügbaren Geo-Basisdaten
- Erstellung und Verschneidung von Rasterdaten im Datenbankprozessor DPROC zur Abbildung der realen Landnutzungs-, Kulturarten- und Bodenartenverteilung als Primärinformation für den DPROC
- Kombination der dominanten Kulturart der InVeKoS-Feldblöcke mit den Informationen Mulchsaatmaßnahmeanträge des Förderprogramms UL für das Jahr 2006 zur Abbildung der realen Bearbeitungsverteilung

- Integrierung einer interaktiven Flächenauswahl und Parameterzuschnitt im Datenbankprozessor DPROC zur Vereinfachung der Parametrisierung des Modells EROSION 3D
- Erweiterung und Korrektur der DPROC-Datenbank um erosionsrelevante Bodenparameter für dauerhaft konservierende und in Direktsaat bestellte Flächen
- Parametrisierung eines Worst-Case-Szenarios und eines Realnutzungsszenarios zur Simulation mit EROSION 3D für ein 10-jähriges Niederschlagsereignis
- Simulation und Auswertung der o. g. Szenarien.

1.3 Ergebnisverwertung

Die im Forschungsvorhaben erzielten Ergebnisse finden Anwendung in der

- vereinfachten und vergleichbaren Anwendung des Erosionsprognosemodells EROSION 3D unter Zuhilfenahme der Parametrisierungssoftware DPROC im Bereich des landwirtschaftlichen Boden- und Gewässerschutzes,
- verbesserten Abbildung der Effekte der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung und Direktsaatverfahren auf den Infiltrationsprozess und die Partikelablösung sowie
- sachsenweite Abschätzung und Bewertung des Bodenabtrags, der Deposition und des Sedimenteintrages in Oberflächengewässer für ein Worst-Case- und ein Realnutzungsszenario – z. B. zur Spezifizierung gebietsbezogener Handlungsempfehlungen und Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL), des Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER).

2 Software

2.1 EROSION 3D

Das Erosionsmodell EROSION 3D basiert im Wesentlichen auf der von SCHMIDT (1996) erarbeiteten Hangprofilversion EROSION 2D.

Es ist ein rasterbasiertes, physikalisch begründetes und computergestütztes Modell zur Simulation von Bodenabtrag, Deposition und Sedimenteintrag in Fließgewässer. Unter Zuhilfenahme des GREEN-AMPT-Ansatzes (1911) wird die Infiltration berechnet. Die Partikelablösung und der Partikeltransport erfolgen über den Impulsstromansatz von SCHMIDT (1996). Das Modell EROSION 3D ist als Ein-Schicht-Infiltrationsmodell validiert und gut dokumentiert. Eine umfangreiche Datengrundlage zur Parametrisierung des Modells wurde im Rahmen des Bodenerosionsmessprogramms Sachsen geschaffen, die im Parameterkatalog Sachsen (LFL & LFUG 1996) zusammengefasst sind.

Sensitivitätsanalysen hinsichtlich seiner Eingabeparameter wurden hinreichend durchgeführt. Das Modell wurde in zahlreichen Einzugsgebieten angewendet (z. B. SEIDEL 2009, SCHINDEWOLF et al. 2009, SCHILDE 2008, SCHOB et al. 2006, HEBEL 2003, SCHMIDT et al. 2000, JETTEN et al. 1999; SCHMIDT et al. 1999, KLIK et al. 1998).

Über die experimentell ermittelten Parameter Skinfaktor und Erosionswiderstand können die bearbeitungsbedingten Effekte auf die Prozesse Infiltration, Oberflächenabfluss und Partikelablösung abgebildet werden.

EROSION 3D (Ver. 3.15) verfügt über mehrere obligatorische bzw. optionale Module. Im Folgenden werden nur solche erläutert, die unmittelbar mit der Projektbearbeitung in Verbindung stehen. Das Modul Digitale Reliefanalyse dient der Generierung hydrologisch essenzieller Rasterdaten (Abflussrichtung, Abflussverteilung, Abflusskonzentration u. a.) aus vorhandenen DGM-Datensätzen. Es umfasst folgende Funktionen:

- Suche und Auffüllung abflussloser Senken
- Berechnung der flächenhaften Abflussverteilung und Abflusskonzentration
- Berechnung der zu jeder Rasterzelle gehörenden Einzugsgebietsfläche und Fließweglänge (Abflusskonzentration)
- Schwellenwertberechnung zur Bestimmung ephemerer, d. h. kurzlebige Gerinne, die nur bei Starkniederschlägen wasserführend sind
- Bestimmung der Wasserscheidenlage und des Einzugsgebietsauslasses.

Das Boden-/Landnutzungsmodul dient dem Einlesen und Weiterverarbeiten vorher vom Anwender generierter Eingabedatensätze. Darüber hinaus ermöglicht es die Abbildung des Infiltrationsverlaufs in Abhängigkeit von Boden- und Bearbeitungseigenschaften. Im Niederschlagsmodul können im Voraus erstellte Niederschlagsdaten weiterverarbeitet werden. Eine räumliche Verteilung von Niederschlagsdaten, z. B. für Einzugsgebiete, wird über Zonenraster und Niederschlagstabellen ermöglicht.

Im Infiltrationsmodell kann zwischen Ein- und Mehrschichtinfiltration unterschieden werden.

Zur Ermittlung des flächenspezifischen Oberflächenabflusses, des Bodenabtrags und der Deposition werden folgende modellinterne hydrologische, hydraulische und bodenphysikalische Berechnungen durchgeführt:

- Niederschlagsinfiltration (Green-Ampt-Ansatz),
- Abflussbildung (Infiltrationsüberschuss),
- Ablösung der Bodenpartikel von der Bodenoberfläche als Folge des Aufschlags der Regentropfen (Splash) und der Scherkraft des Oberflächenabflusses,
- Partikeltransport sowie Deposition (differenziert nach neun Bodenartenklassen) in Abhängigkeit von der Transportkapazität des Oberflächenabflusses und
- Partikelanreicherung entlang des Transportweges durch selektive Deposition.

Die Ein- und Ausgabeparameter des Modells EROSION 3D sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Ein- und Ausgabeparameter von EROSION 3D

	Boden	Einheiten	
Eingabeparameter	Lagerungsdichte	kg/m ³	
	Anfangswassergehalt	V.-%	
	Organischer Kohlenstoffgehalt	M.-%	
	Erosionswiderstand	N/m ²	
	Hydraulische Rauigkeit n	s/m ^{1/3}	
	Bodenbedeckungsgrad	%	
	Korngrößenverteilung für 9 Bodenarten	M.-%	
	Skinfaktor	-	
	Relief		
	x, y, z-Koordinaten	m	
Niederschlag			
Niederschlagsdauer	min		
Niederschlagsintensität	mm/min		
Ausgabeparameter	Einzelzellenbezogene Parameter (beliebige Flächenzelle)		
	Erosion, Deposition (Sedimentbilanz)	kg/m ²	
	Abflussvolumen	m ³ /m	
	Gerinnebezogene Parameter (beliebige Zelle im Vorfluternetz)		
	Abflussvolumen ereignisbezogen	m ³ /m	
	Transportiertes Sediment ereignisbezogen	kg/m	
	Nettoerosion im Einzugsgebiet des Vorfluternetzes	t/ha	
	Ton- bzw. Schluffanteil des eingetragenen Sediments	M.-%	
	Einzugsgebietsbezogene Parameter (beliebige Zelle im EZG)		
	Zufluss aus dem jeweiligen Einzugsgebiet	m ³ /m	
	Sedimentzufluss aus dem jeweiligen Einzugsgebiet	kg/m	
	Sedimentkonzentration	kg/m ³	
	Tonanteil des transportierten Sediments	kg/m	
Schluffanteil des transportierten Sediments	kg/m		
Gesamtaustrag aus dem Zelleinzugsgebiet, differenziert nach 9 Korngrößenklassen	kg/m		
Durchschnittlicher Abtrag innerhalb des jeweiligen Zelleinzugsgebietes	t/ha		
Durchschnittliche Deposition innerhalb des jeweiligen Zelleinzugsgebietes	t/ha		
Durchschnittlicher Austrag (Nettoerosion) aus dem jeweiligen Zelleinzugsgebiet	t/ha		

2.2 Datenbankprozessor DPROC

Der Datenbankprozessor DPROC wurde von der Firma GeoGnostics Berlin im Rahmen eines FuE-Vorhabens entwickelt (LFL/GEOGNOSTICS 2005).

Es handelt sich um ein PC-gestütztes, interaktives Software-Werkzeug, das über Datenbankabfragen aus den verfügbaren Geo-Basisdaten (digitale Relief-, Boden- und Landnutzungsdaten) flächendeckende Eingabewerte für die spezifischen Boden- und Landnutzungsparameter des Prognosemodells EROSION 3D generiert (LFL/GEOGNOSTICS 2005).

Die Grundlage der Datenbank bildet der Parameterkatalog Sachsen (PKS, LFL & LFUG 1996), der auf Basis von 129 Berechnungsexperimenten des Bodenerosionsmessprogramms Sachsen (LFUG & LFL 1994, 1995, 1996) zusammengestellt wurde. Auf dieser Basis entwickelte KÖHLER (2000) eine Datenbankanwendung, die es ermöglicht, die notwendigen Eingangsparameter über vorhandene Informationen (Bodenart, Landnutzung, Bearbeitungssystem, Feuchtestufe und Monat) für EROSION 3D abzuleiten.

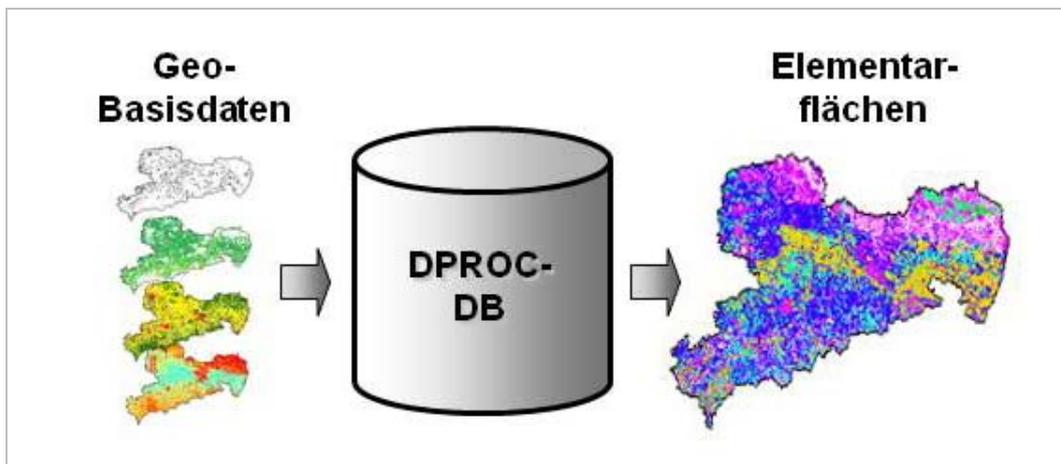


Abbildung 1: Arbeitsweise des Datenbankprozessors DPROC

Der DPROC ermöglicht eine schnelle Ableitung zeitlich variabler Feldzustände mesoskaliger Einzugsgebiete. Die Basisdaten der Landnutzungs- und Bodeninformationen können dabei in Abhängigkeit ihrer Flächendeckung hierarchisch strukturiert werden. Datenlücken zur aktuellen Landnutzung entstehen vor allem durch das Fehlen eines räumlichen Schlagkatasters mit eindeutiger Georeferenzierung bezüglich der InVeKoS-Kulturartenangaben. Dieser Mangel kann nur teilweise über die Kulturartenzuweisung nach Flächendominanz bzw. höchster Erosionsanfälligkeit einer Kulturart behoben werden.

Ein Datenbankabfragemenü erlaubt die Auffüllung von Leerfeldern, die Zuweisung globaler Nutzungen und Bodenarten. Bodenzustände, Bodenfeuchten, Entwicklungszustände und Mulchgehalte

können aus der DPROC-Datenbank (DPROC-DB) abgeleitet bzw. über selbst erstellte Raster vordefiniert werden. Eine intern erzeugte Protokolldatei gibt Auskunft über die Qualität der erzeugten Datensätze, d. h. für jede Elementarfläche werden die Eingangsparameter nach ihrer Schätzqualität (1, sehr gut – 4, befriedigend) bewertet. Datenlücken sind durch den nodata-Wert -9999 gekennzeichnet.

3 Material und Methoden

3.1 Datengrundlagen

3.1.1 Geobasisdaten

Seit Mitte der 1990er-Jahre wird das Modell Erosion 3D im vorsorgenden Bodenschutz von den Behörden zu Beratungs- und Planungszwecken verwendet. Die Vielzahl der Anwendungen und Bearbeiter, aber vor allem der verwendeten Basisdaten machen diese Ergebnisse untereinander nicht oder nur sehr eingeschränkt vergleichbar. Da jedoch Zieleinhaltungen gemäß EU-WRRL und BBodSchG von den Behörden landesweite, vergleichbare Aussagen verlangen, war es notwendig, einen homogenen und konsistenten Basisdatensatz auf Grundlage landesweit verfügbarer Flächendaten (s. u.) zu erstellen. Die durchgeführten Korrekturen und Ableitungen wurden dokumentiert, um zukünftige Erweiterungs- und Pflegemaßnahmen dieser Datengrundlage bei Verfügbarkeit neuer Realisierungsstufen zu gewährleisten. Folgende Flächendaten wurden zur Erstellung des homogenen Basisdatensatzes bearbeitet:

Reliefdaten

ATKIS-DGM25

Das korrigierte Digitale Geländemodell auf Basis des ATKIS-DGM 25 (KOTHE et al. 2005) lag blattschnittfrei vor und wurde auf die in EROSION 3D erzeugte Vorfluternetzverteilung hin geprüft. Da zum Teil Lageabweichungen auch bei den Hauptgewässern nachweisbar waren (vgl. Abbildung 10), wurde versucht, diese mit geeigneten GIS-Werkzeugen zu korrigieren.

Bodendaten

Bodenatlas Sachsen (BSA)

Im Projekt wurden Basisdaten des Bodenatlas Sachsen (LFUG 2007) verwendet, wobei es sich um überarbeitete Informationen der BÜK200 handelt. Die im Maßstab 1 : 200.000 vorliegende Bodenkarte wies Fehlflächen vor allem im Bereich von Siedlungen und Tagebauten auf, die behoben werden mussten (vgl. 4.1.1).

Landnutzungsdaten

ATKIS-DLM25

Seit Mitte 2005 existiert für Sachsen ein flächendeckender Datenbestand des ATKIS-DLM25 in der 2. Realisierungsstufe (LVA 2005). Diese Datengrundlage lag nur in Einzelblättern und mit über 4.500 Fehlflächen vor. Diese Fehlflächen umfassten nicht klassifizierte und nicht digitalisierte Objekte, die in weiteren Arbeitsschritten korrigiert wurden (vgl. 4.1.1.)

InVeKoS-Feldblöcke

Die digitalen Nutzungsinformationen der InVeKoS-Feldblöcke (LFL 2006) lagen flächendeckend für das Jahr 2006 vor. Mit Hilfe des DPROC wurde die dominante Kultur für das Erntejahr 2006 abgeleitet. Das Ergebnistraster wurde stichprobenartig auf Plausibilität geprüft. Die feldblockdominante Kultur wurde geprüft und ist plausibel, die dominante Bearbeitung musste in einem zusätzlichen Arbeitsschritt abgeleitet werden (vgl. 4.1.1).

Niederschlagsdaten

DWD-Gutachten

Die Grundlage der verwendeten Niederschlagsdaten bildet ein Gutachten des DWD (LFL & LFUG 1996). Dieses weist für Sachsen acht Niederschlagsregionen aus, die mit 0,5-, 1-, 2-, 5-, 10-, 20-, 50- und 100-jährigen Ereignissen hinterlegt sind. Da die Niederschlagsdaten nur in einzelnen Dateien vorliegen und keinen Flächenbezug aufweisen, mussten die Informationen verknüpft und flächig verfügbar gemacht werden.

Andere Flächendaten

Hydrologische Einzugsgebiete

Die offiziellen Einzugsgebietsgrenzen (LFUG 2007) lagen landesweit vor. Die Gewässer können per Gewässerkennzahl (GKZ) nach der LAWA-Kodierung einem der 13 Hauptgewässer in Sachsen zugeordnet werden. Die Daten wurden übernommen und im DPROC zur interaktiven Gebietsauswahl hinterlegt. Oberlieger der Einzugsgebiete können über die Gewässerkennzahl automatisch identifiziert werden. Problematisch sind hingegen kleine Teilgebiete, deren Geometrien fehlerhaft sind oder die aus mehreren Polygonen bestehen. Diese Gebiete mussten in einem weiteren Arbeitsschritt umklassifiziert werden.

3.1.2 Abgeleitete Daten

DPROC-Datenbank

Erosionswiderstand [N/m²]

Der Erosionswiderstand beschreibt die Summe aller Kräfte (Kohäsion, Adhäsion, Reibung, Erdanziehung), die die Einzelpartikel an die Bodenmatrix binden. Da der Erosionswiderstand eines Bodens von einer Vielzahl von physikalisch-chemischen Bodeneigenschaften (Textur, Aggregatstabilität, C_{org}-Gehalt, Wurzeldichte, Gefügestruktur, Bodenbedeckung) abhängig ist, unterliegt er einer hohen räumlichen und ggf. auch zeitlichen Dynamik. Neben der Bodenart sind besonders die Ko-

häsion der Bodenpartikel untereinander und die Schwerkraft entscheidend. Da die Kohäsion mit sinkendem und die Schwerkraft mit wachsendem Partikeldurchmesser zunehmen, sind Schluff- und Feinsandböden leichter erodierbar als Ton- bzw. Sand- und Kiesböden (SCHMIDT 1996, MICHAEL 2000).

Eine instabile Gefügestruktur, hervorgerufen durch sehr feine Saatbettbereitung und geringe Gehalte an organischem Kohlenstoff, führt zu einer Verringerung des Erosionswiderstandes. Aus diesem Grund sind besonders Böden unter konventioneller Bearbeitung erosionsanfälliger als Böden unter konservierender Bearbeitung und Direktsaat.

Oberflächenrauigkeit [s/m^{1/3}]

Die Rauigkeit einer Bodenoberfläche beschreibt die Minderung der Fließgeschwindigkeit durch Strömungshindernisse im Bereich des Mikroreliefs (SCHMIDT 1996, MICHAEL 2000). Eine erhöhte Rauigkeit führt zur Verringerung der Fließgeschwindigkeit und somit zur Abnahme des strömungsimmanenten Impulsstromes und folglich zur Abnahme der Transportkapazität des Oberflächenabflusses. Die Rauigkeit ist zeitlich und räumlich hoch variabel und wird bestimmt durch die Größe der Bodenaggregate und durch Art und Struktur der Bodenbedeckung. Demzufolge weisen sehr fein bearbeitete oder verschlammte Böden ohne Mulchauflagen die geringsten und voll entwickelte Pflanzenbestände die höchsten Rauigkeitsbeiwerte auf.

Skinfaktor [-]

Abhängig von Landnutzung und Bodenbearbeitung ist die Infiltrationsrate räumlich und zeitlich dynamisch. So fördert zum Beispiel eine sehr feine Bodenbearbeitung die Ausbildung einer nur wenige Millimeter mächtigen Verschlammungsschicht an der Bodenoberfläche, deren hydraulische Leitfähigkeit deutlich verringert ist. Andererseits können vor allem biogene Makroporen, die vor allem unter Wald, Grünland aber auch konservierender Bodenbearbeitung vorkommen, die Infiltrationseigenschaften des Bodens deutlich verbessern. Diese Dynamik wird im Modell mit dem so genannten Skinfaktor abgebildet, der die Infiltrationsrate über die Multiplikation mit der hydraulischen Leitfähigkeit kalibriert.

Lagerungsdichte [kg/m³]

Die Lagerungsdichte ergibt sich aus der Trockenmasse einer ungestörten Bodenprobe bezogen auf das Gesamtvolumen. Aufgrund mechanischer Eingriffe bei der Bodenbearbeitung unterliegt die Lagerungsdichte der Oberböden großen räumlichen und zeitlichen Schwankungen. Diese Dynamik ist umso ausgeprägter, je intensiver die Bodenbearbeitung erfolgt.

C_{org}-Gehalt

Der organische Kohlenstoffgehalt, kurz C_{org}-Gehalt, gibt die Menge der organischen Substanz im Boden an. Er ist maßgeblich für den Zusammenhalt der Bodenaggregate verantwortlich. Böden mit einem hohen Anteil an organischem Kohlenstoff besitzen infolge größerer Aggregate und Makroporen durch Wurzelröhren verbesserte Infiltrationsleistungen (LFL & LFUG 1996). Der C_{org}-Gehalt wird maßgeblich durch die Menge an Pflanzenresten bestimmt, die nach der Ernte auf der Bodenoberfläche verbleiben. Das ist vor allem von der angebauten Kultur und dem angewendeten Bodenbearbeitungsverfahren abhängig. Eine intensive Belüftung, wie sie vor allem bei konventionellen Bodenbearbeitungsverfahren auftritt, fördert den schnellen Abbau organischer Substanz.

Bodenbedeckungsgrad [%]

Der Bedeckungsgrad beschreibt das Verhältnis der durch Pflanzen, Mulch und Steine bedeckten Fläche zur Gesamtfläche des Bodens. Die Bodenbedeckung bietet den wirksamsten Schutz vor Erosion, da sie den Tropfenaufschlag auf die Bodenoberfläche verhindert sowie die Interzeptionsleistung und Oberflächenrauigkeit erhöht. Sie ist zeitlich hoch dynamisch und vor allem von der angebauten Kultur, deren Wachstumsstadium und der Fruchtfolge abhängig (LFL & LFUG 1996).

Anfangsbodenfeuchte [Vol.-%]

Dieser Parameter beschreibt den Wassergehalt des Bodens vor einem Niederschlagsereignis (LFL & LFUG 1996). Aufgrund der Abhängigkeit von der Witterung (Niederschlagssumme, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Strahlungsbilanz) und den Bodenbedingungen (Bodenart, C_{org}-Gehalt, Lagerungsdichte, Bodenbedeckung, Fruchtart und Bodenbearbeitung) ist dieser Parameter hoch variabel (LFL & LFUG 1996). Da Messdaten zur Bodenfeuchte zumeist nicht kontinuierlich und flächendeckend verfügbar sind, muss die Anfangsbodenfeuchte ggf. unter Verwendung geeigneter Wasserhaushaltsmodelle (WaSIM-ETH) geschätzt werden.

Schlussfolgerung

Im Zeitraum des Bodenerosionsmessprogramms Sachsen wurden die Techniken der konservierenden Bodenbearbeitung in Sachsen neu eingeführt. Deshalb standen weniger konservierend als konventionell bearbeitete Untersuchungsflächen zur Verfügung (42 konservierende vs. 66 gepflügte Flächen). Darüber hinaus haben sich in den letzten 15 Jahren maschinentechnische Änderungen ergeben. Zum Beispiel wird der Zinkenrotor als Arbeitsgerät heute seltener eingesetzt als Mitte der 1990er-Jahre.

Ein weiteres Problem ergibt sich durch die Anwendungsdauer der konservierenden Bodenbearbeitung. Viele der damaligen Untersuchungsflächen wurden nur einmalig pfluglos bestellt. Eine Berechnung von dauerhaft konservierend bearbeiteten Flächen fand in Lüttewitz (acht Experimente) und Methau (18 Experimente) statt. Zur Parametrisierung von Bearbeitungsszenarien mussten die bisher verfügbaren experimentellen Daten ergänzt werden.

Aus Untersuchungsergebnissen anderer Autoren (SCHRAMM 1997, ZIMMERLING 2004, REGER 2007, GROSCH 2007) stehen darüber hinaus Daten zur Verfügung, die bisher keinen Eingang in offizielle Tabellen oder Datenbanken zur Parametrisierung des Modells EROSION 3D gefunden haben.

Die Prüfung des Parametrisierungswerkzeuges DPROC und der hinterlegten Datenbank führt zu dem Schluss, dass einige Parameter unplausibel abgeschätzt bzw. Nutzungen nicht korrekt zugeordnet werden. Diese Probleme sind insbesondere auf die Vielzahl der Bearbeiter zurückzuführen, die seit Publikation des Parameterkatalogs Sachsen (LFUG 1996) an der Erstellung und Pflege der relationalen Datenbank beteiligt waren. Das Fehlen einer einheitlichen und fortgeschriebenen Dokumentation schränkt die konsistente Pflege dieser Datenbank erheblich ein.

Aus diesen Erkenntnissen ergaben sich für diesen Arbeitsschritt folgende Aufgabenstellungen und Ziele:

- Neukategorisierung der Originalversuche des Bodenerosionsmessprogramms Sachsen
- Erweiterung der Datengrundlage für dauerhaft konservierend bearbeitete Flächen durch eigene Untersuchungen
- Schaffung einer Datengrundlage für Direktsaatflächen durch eigene Untersuchungen
- Einarbeitung der Daten von anderen Autoren
- Korrektur unplausibel abgeschätzter Parameter und Zuordnung neuer Nutzungen
- Detaillierte Protokollierung aller Kategorisierungen, Homogenisierungen und Schätzungen, um die Transparenz der Datenbank für zukünftige Pflege und Erweiterungen zu verbessern.

4 Methoden

4.1 Datenverarbeitung

Landesweite Modellanwendungen mit EROSION 3D wurden in der Vergangenheit nicht zuletzt durch den damit einhergehenden Parametrisierungsaufwand verhindert. Mit der Software DPROC wurde bereits 2005 ein erster Schritt in Richtung automatisierter Modellparametrisierung von EROSION 3D realisiert. Eine schnelle, effiziente und großflächige Anwendung von EROSION 3D wurde zu Beginn des Vorhabens durch das Fehlen einer interaktiven Flächenauswahl und einen integrierten Flächendatenzuschnitt eingeschränkt. Für eine automatische Anwendung von EROSION 3D auf Einzugsgebietsebene waren nachfolgend dargestellte Korrekturen der Eingangsdaten erforderlich.

4.1.1 Aufbereitung der Flächendaten

Reliefdaten

ATKIS-DGM

Bezüglich des in Sachsen verfügbaren DGM ergaben sich Schwierigkeiten, das Fließgewässernetz konsistent abzubilden und Sedimentübertrittspunkte lagegetreu zu identifizieren. Aus diesem Grund musste das DGM hinsichtlich der genannten Punkte optimiert werden. Zur korrekten Ableitung der Wasser- und Feststoffflüsse stellt die Software ArcGIS 9.2 einen Algorithmus zur Verfügung, der eine Optimierung des DGM erlaubt. Damit war es möglich, sowohl den Gewässerlauf in das DGM einzutiefen als auch die Umgebungspixel diesem Gewässerlauf anzupassen, um zu gewährleisten, dass die offiziellen Fließgewässer den tiefsten Geländebereichen folgen (vgl. Abbildung 2). Für die Gewässer wurden die offiziellen Daten, Fließgewässer und ATKIS-DLM-Gewässer des LFUG und LVA zugrunde gelegt (LFUG 2007, LVA 2005).

Um das Relief als Grenzfläche der im Zentrum stehenden Prozesse nicht in unrealistischer Weise zu verändern, wurde ein Kompromiss aus Anpassung und Beibehaltung der vorhandenen Strukturen angestrebt. Diese Vorgehensweise war erforderlich, da die Qualität der vorhandenen offiziellen Gewässerdaten keine optimale Reliefaufbereitung zulässt. Viele kleinere Fließgewässer sind unterbrochen und es fehlt die Information über die Fließrichtung der Gewässer.

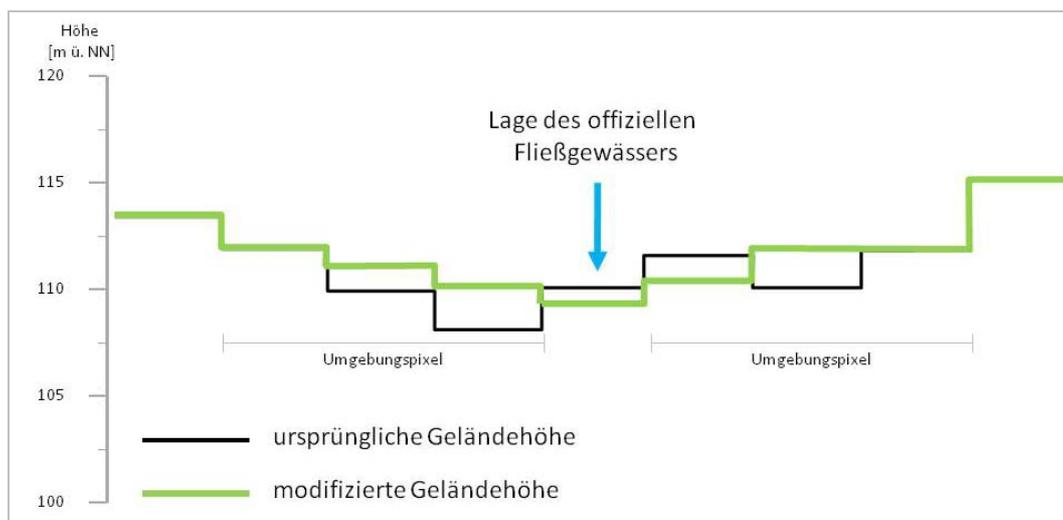


Abbildung 2: Reliefaufbereitung zur verbesserten Abbildung der Wasser- und Stoffflüsse

Parametrisierung

Das digitale Relief wurde im Bereich der Fließgewässer und ATKIS-DLM-Gewässer um 1 m eingetieft bzw. angehoben und es wurden jeweils die drei Pufferpixel neben den Gewässern in die Ableitung einbezogen (vgl. Abbildung 2).

Die Bearbeitung erfolgte für jedes Einzugsgebiet gleichermaßen. Streng genommen müssten diese Parameter im Flachland anders definiert werden als im Mittelgebirge. Da viele Einzugsgebiete Sachsens jedoch in Nord-Süd-Richtung mehrere Landschaftsräume enthalten und die Parametrisierung der Teileinzugsgebiete im Rahmen des Vorhabens nicht durchführbar war, wurde diese Konstellation in einem Testgebiet validiert und auf alle Einzugsgebiete übertragen.

Im Nachgang wurde das so angepasste DGM der Fließgewässerableitung in EROSION 3D unterzogen. Auf diese Weise wird die Fließgewässerverteilung realistischer wiedergegeben als es ohne Korrektur der Fall wäre (vgl. Abbildung 10).

Bodendaten

Bodenatlas Sachsen (BSA)

Die Fehlflächen des Bodenatlas wurden in Abhängigkeit der Nutzung und den umgebenden Bodenarten angeglichen. Zur standardisierten Weiterverarbeitung wurden alle für die Weiterverarbeitung im DPROC nicht relevanten Informationen aus den Attributtabellen entfernt.

Landnutzungsdaten

ATKIS-DLM25

Die Einzelblätter des ATKIS DLM25 (vgl. 3.1.1) wurden zu landesweiten Polygone-dateien bzw. Liniendateien verschnitten. In Sachsen existierten ca. 4.500 nicht klassifizierte Polygone, d. h. Flächen, für die keine Information vorlag. Diese wurden manuell mit Hilfe digitaler Orthophotos nachklassifiziert. Die Klassifizierung orientiert sich dabei an der späteren Parametrisierung durch den Datenbankprozessor, der lediglich wenige Nutzungen unterscheidet. Diese sind:

- Wald/Forst
- Wiese
- Acker
- bebaute Fläche
- Straße/asphaltierter Weg
- bewachsener Weg
- unbewachsener Weg
- Ruderalvegetation
- Gewässer.

Die Geometrien des ATKIS-DLM25 wurden grundsätzlich beibehalten. Bei Mehrfachnutzung unversigelter Polygone wurde die Nutzung (z. B. Ackernutzung) nach dem größten Flächenanteil klassi-

fiziert. Beinhaltete ein Polygon versiegelte und unversiegelte Flächen zu etwa gleichen Anteilen, galt das Polygon als versiegelt. Waren weniger als 15 % versiegelt, wurde die dominante Nutzung für die versiegelten Flächen übernommen. Dieses Vorgehen entspricht im Wesentlichen der Topographischen Aufnahme des ATKIS-DLM25 in diesem Maßstabbereich. Nach der Bereinigung der Fehlflächen wurden die Tabelleninformationen homogenisiert. Es wurde nur die zur Weiterverarbeitung notwendige Tabellenspalte mit den Angaben zur Nutzung beibehalten.

Obwohl der Datenbankprozessor über eine Filterfunktion verfügt, wurden die nicht parametrisierbaren Objekte (z. B. Ortslage, Verwaltungseinheit) aus der Datengrundlage entfernt, um mögliche Fehlerquellen der zukünftigen Arbeit mit dem DPROC im Voraus auszuschließen (vgl. Tabelle A 1, Anhang). Filter müssen für die Weiterverarbeitung der Polygondatei des ATKIS-DLM nicht verwendet werden. Da die Filterung für die Liniendatei des ATKIS-DLM abhängig von der jeweiligen Zielstellung und räumlichen Auflösung sehr unterschiedlich sein kann, wurde auf Vorselektieren und Entfernen bestimmter Objekte aus dieser Datei verzichtet.

InVeKoS-Feldblöcke

Aus dem digitalen Feldblockkataster wurden alle Tabelleninformationen entfernt, die für die Parametrisierung nicht benötigt werden.

Die Mulchsaatanträge des Programms Umweltgerechte Landwirtschaft Zusatzförderung II, (ZFII LFL 2006) ermöglichten landesweite Aussagen zur dominanten landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung. Die dazu notwendigen Operationen wurden mit der Software MS Excel durchgeführt. Im Voraus wurden alle Feldblöcke (FLIK) aus der Tabelle SCHLAG2006.xls selektiert (Funktion: SVERWEIS), für die eine Mulchsaat im Erntejahr 2006 beantragt wurde. Für diese Auswahl der Mulchsaatflächen des Erntejahres 2006 wurden im Anschluss die dominanten Kulturen über Aufsummierung der Flächenteile, der verschiedenen Nutzungscodes einer FLIK ermittelt. Das Vorgehen erfolgte analog für die Dateien ZFII.xls. Es wurde für alle Feldblöcke der Flächenanteil der Mulchsaat für den jeweiligen Nutzungscode ermittelt. Diese Information wurde dann mit den Flächenanteilen der dominanten Kultur verglichen. Der Parametrisierung lagen zwei verschiedene Annahmen zugrunde:

1. Über 50 % der dominanten Kulturart werden in Mulchsaat bestellt (Grundlage des Ist-Stand-Szenarios).
2. Die dominante Kulturart wird zu 100 % in Mulchsaat bestellt.

Niederschlagsdaten

DWD-Gutachten

Für die Niederschlagsereignisse bestimmter Wiederkehrzeit wurde jeweils eine Niederschlagsdatei für Sachsen erstellt. Um die zonenabhängigen Niederschlagsdaten flächendifferenziert für das Modell verfügbar zu machen, musste eine Niederschlagszonen-Raster erstellt werden, das die Verknüpfung zwischen Tabellen- und Flächeninformation beinhaltet.

Darüber hinaus wurde im Rahmen des Vorhabens die Möglichkeit getestet, die Daten des KOSTRA-Atlas (KOSTRA-DWD 2000, BARTELS 1997) zu nutzen. Dabei wurden jedoch folgende Defizite deutlich:

1. Die vom Anwender festzulegende Dauer des statistischen Niederschlagsereignisses hat durch die Änderung der Niederschlagsintensität einen überproportionalen Einfluss auf die Partikelablösung.
2. Die landesweite Bereitstellung der Daten ist sehr zeit- und arbeitsaufwändig.

Aus diesen Gründen wird von einer Weiterverarbeitung dieser Daten abgesehen.

Andere Flächendaten

Hydrologische Einzugsgebiete

Die fehlerhaft abgegrenzten Gebiete konnten problemlos durch Änderung ihrer Geometrie oder Anpassung der Gewässerkennzahl korrigiert werden.

4.1.2 Interaktive Flächenauswahl und automatischer Datenzuschnitt

Eine interaktive Flächenauswahl war notwendig, um die Geo-Basisdaten (Relief-, Landnutzungs- und Bodeninformation) im Vorfeld der Datenbankabfrage auf die gewünschte räumliche Ausdehnung und Auflösung zuzuschneiden. Diese Flächenauswahl soll für hydrologische Einzugsgebiete und Oberflächenwasserkörper durchgeführt werden, da es sich dabei um hydrologisch eindeutig definierte Systeme handelt. Eine Flächenauswahl nach administrativen Grenzen oder Landnutzungsgrenzen ist nicht sinnvoll. Die korrekte Abbildung der Wasser- und Stoffflüsse erfordert eine automatische Ableitung aller Oberliegerezugsgebiete eines Zieleinzugsgebietes. Dazu wurde die Parametrisierungssoftware DPROC durch die Firma GeoGnostics Berlin entsprechend weiterentwickelt.

Aus hydrologischer Sicht wird das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland in sechs Stromgebiete und die Küstengebiete unterteilt (LAWA1978). Die einzelnen Gebiete und deren darin enthaltene Teilgebiete werden durch Zahlen gekennzeichnet, die eine eindeutige Verschlüsselung zulassen. Die erste Stelle dieser Gewässerkennzahl (GKZ) gibt das Stromgebiet, die zweite Ziffer die erste Unterteilung des Gebietes an. Die folgenden Stellen unterteilen die Teilgebiete weiter. Die GKZ besteht aus 10 Ziffern, wobei kürzere GKZ mit Nullen aufgefüllt werden können. Die Nummerierung beginnt jeweils an der Mündung des Gewässers. Einzugsgebiete entlang des Hauptfließgewässers werden als Zwischengebiete bezeichnet und werden mit ungeraden Ziffern codiert, während Einzugsgebiete der Nebenfließgewässer mit geraden Ziffern belegt werden (KOSCHITZKI 2004). Die Codierung erlaubt nicht nur eine einfache Zuordnung eines Einzugsgebietes zu einem größeren Flussgebiet, sondern bietet zusätzlich die Möglichkeit, durch eine einfache Abfrage die oberhalb eines Punktes gelegenen Gewässerabschnitte zu identifizieren. Umgekehrt können auch alle Gewässerabschnitte unterhalb eines Punktes bis zur Mündung selektiert werden. Diese Funktion wird jedoch im Datenbank-Prozessor nicht verwendet.

Selektion der oberhalb eines Punktes gelegenen Gewässerabschnitte

Bei der Berechnung von Abfluss und Sediment in EROSION 3D spielt oft eine wichtige Rolle, welches die Oberlieger eines betrachteten Gewässerabschnitts sind. Diese Auswahl wird ausgehend von der Gewässerkennzahl des aktuellen Gebietes („Start-GKZ“) vorgenommen. Die Oberlieger können aus der Gesamtliste aller Einzugsgebiete im DPROC intern durch folgende Routine bestimmt werden:

1. Bestimmung der „Basis-GKZ“ zur Festlegung der Gebiets-Zugehörigkeit:
Die Programmroutine lokalisiert in der Gewässerkennzahl von rechts die erste gerade Ziffer und ersetzt alle rechtsstehenden Ziffern durch Nullen.
2. Im zweiten Schritt erfolgt die Prüfung aller GKZ auf folgende Bedingung: $GKZ \leq \text{Start-GKZ}$ und $GKZ \geq \text{Basis-GKZ}$

Ist das Ergebnis dieser Abfrage wahr, gehört die abgefragte GKZ zum Einzugsgebiet des aktuellen Gebietes.

Beispiel:

Für das Gebiet Reichstädter Bach oberhalb Mündung Rote Weißeritz, TS Malter GKZ 5372253290 (vgl. Abbildung 3) sollen die Oberlieger bis zur Mündung gesucht werden. Von rechts ausgehend werden alle ungeraden Ziffern (9) durch Nullen bis zur ersten geraden Ziffer (2) ersetzt. Das Ergebnis ist die "Basis-GKZ" 5372253200. Die Oberlieger einschließlich der „Start-GKZ“ ergeben sich durch die Abfrage $GKZ \leq 5372253290$ und $GKZ \geq 5372253200$. Ist das Ergebnis der Abfrage wahr, liegt das Gebiet oberhalb oder es entspricht der „Start-GKZ“. Im Beispiel sind das die Gebiete (vgl. Abbildung 3 rechts) 5372253290, 5372253210, 5372253220 und 5372253230.

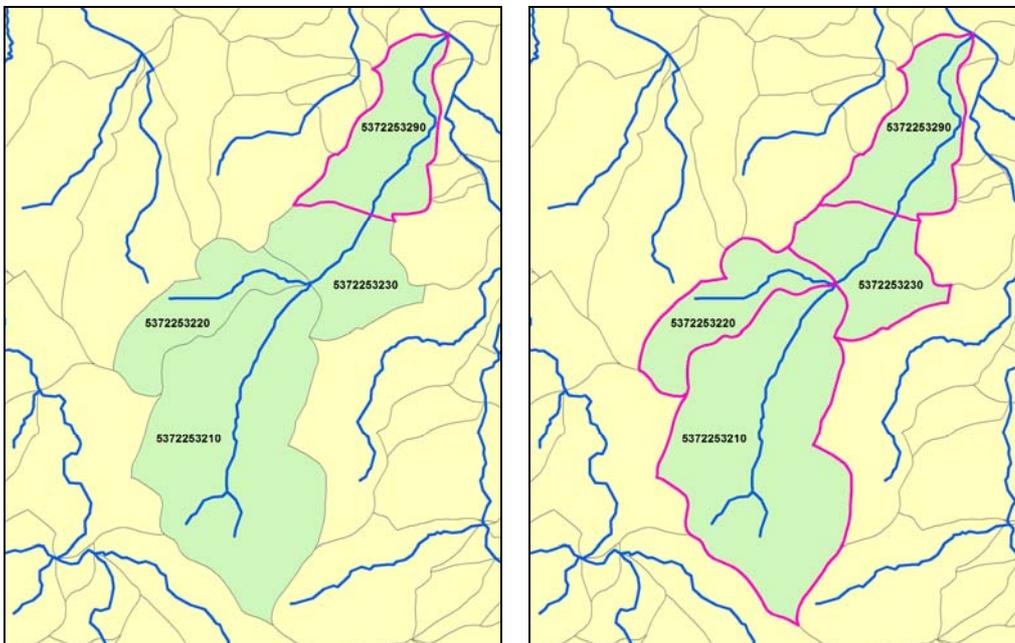


Abbildung 3: Oberliegerableitung im DPROC

4.2 Ergänzung und Korrektur der DPROC-Datenbank

4.2.1 Ergänzung der DPROC-Datenbank durch Daten aus Beregnungsversuchen

Physikalische Grundlagen

Unter Erosion versteht man die Loslösung und den Transport von Bodenpartikeln. Die Loslösung einzelner Partikel aus dem Bodenverband tritt dann ein, wenn die auf die Bodenoberfläche wirkenden Kräfte aus auftreffendem Niederschlag und oberflächlich abfließendem Wasser den bodenspezifischen Erosionswiderstand überwinden. Im Modell werden die wirkenden Kräfte aus Tropfenaufprall und Oberflächenabfluss über den Impulsstromansatz von SCHMIDT (1988) vereinfacht dargestellt. Partikelablösung findet statt, wenn der Gesamtimpulsstrom aus Oberflächenabfluss und Tropfenaufprall den bodenspezifischen Erosionswiderstand (kritischer Impulsstrom) überwindet.

Tritt dieser Fall ein, stehen abgelöste Einzelpartikel zur Verfügung, die im Oberflächenabfluss transportiert werden können. Bei verminderter Transportkraft sinken sie aufgrund der Schwerkraft ab. Absinkgeschwindigkeit und Massenstrom der absinkenden Partikel ergeben den kritischen Impulsstrom der Partikel. Diesem kritischen Impulsstrom der Partikel wirken aufwärtsgerichtete, turbulente Impulsstromkomponenten entgegen, die in der oberflächenparallelen Strömung und den fallenden Tropfen enthalten sind. Bei Unterschreitung des kritischen Impulsstromes können die Partikel nicht mehr in Suspension gehalten werden und lagern sich ab.

Bei der experimentellen Prozesssimulation führt der Einsatz von kleinen Versuchsparzellen zu sehr geringen Abflussvolumenströmen, bei denen die Ablösungs- und Transportprozesse durch Oberflächenabfluss hinter denen durch Regentropfenaufschlag zurücktreten. Es werden Prozesszustände simuliert, die auf Kuppen und Oberhängen in unmittelbarer Nähe zu Wasserscheiden vorkommen. Um alle an der flächenhaften Erosion beteiligten Prozesse (Splash-Erosion, Schichterosion, Rillenerosion) adäquat abbilden zu können, sind demzufolge große Versuchsparzellen bzw. die Einspeisung von Zuschusswasser in kleinere Parzellen erforderlich.

Einfluss der berechneten Hanglänge

Aufgrund der Kumulation des Niederschlagsüberschusses nimmt der Oberflächenabfluss mit der Fließstrecke (Hang- bzw. Parzellenlänge) zu. Dies gilt entsprechend für den strömungsimmanenten Impulsstrom, der neben dem Impulsstrom der Tropfen maßgebend zur Ablösung und zum Transport der Bodenpartikel beiträgt. Während also der Impulsstrom des Oberflächenabflusses mit der Fließstrecke wächst, bleibt der Impulsstrom der Tropfen entsprechend der Niederschlagsintensität über die Hanglänge annähernd konstant. Die relative Wirkung des Tropfenimpulses (Splash) nimmt mit zunehmender Fließstrecke ab. Der Splash-Effekt ist daher nur am Beginn eines Hanges bzw. einer Parzelle von Bedeutung. Bei größeren Hanglängen ist dieser Effekt dagegen annähernd vernachlässigbar. Bei zunehmender Hanglänge und andauernder Partikelablösung erreicht die Sedimentkonzentration (schließlich) einen Wert, welcher der Transportkapazität des Oberflächenabflusses entspricht. Der Sedimentaustag ist dann durch die Fähigkeit des Abflusses limitiert,

Partikel zu transportieren. Die Erodibilität des Bodens spielt dann keine Rolle mehr. Die Transportkapazität wird bei Hanglängen zwischen 20 m und 100 m erreicht (vgl. Abbildung 4).

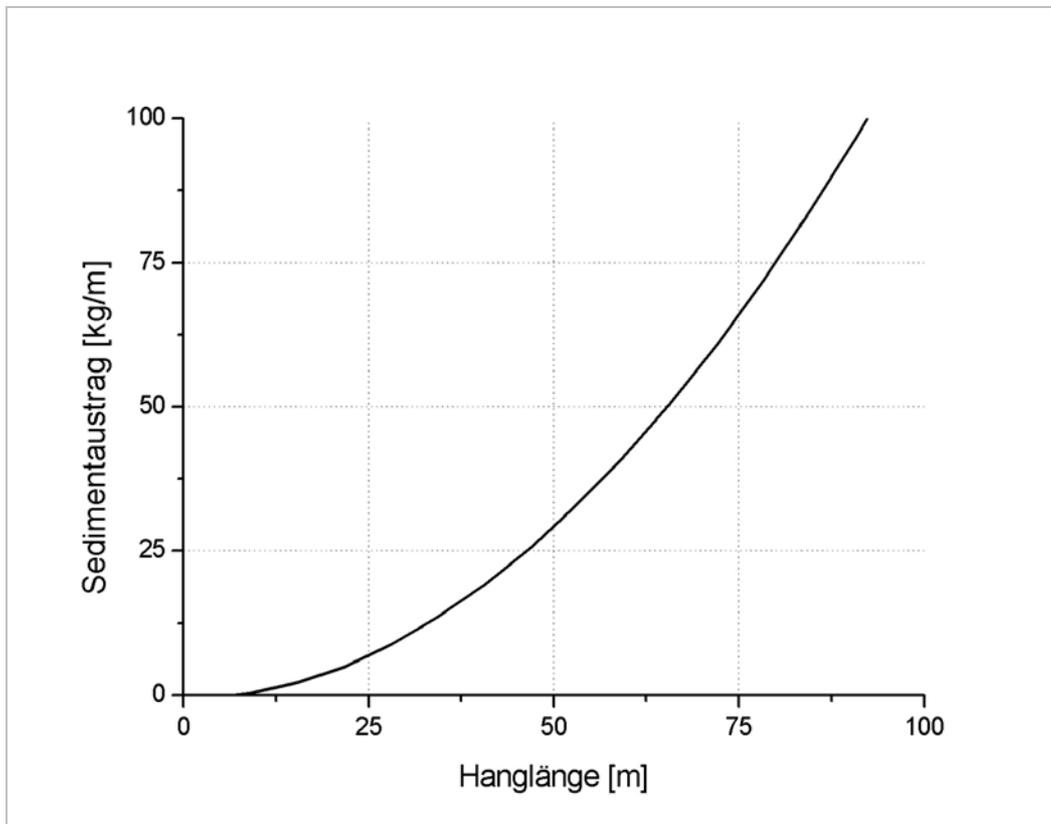


Abbildung 4: Abhängigkeit des Sedimentaustrages von der erosiven Hanglänge (exemplarisch, verändert nach SCHMIDT 1996)

Zur Bestimmung des Erosionswiderstandes sollten die Beregnungsexperimente so konzipiert sein, dass zur adäquaten Repräsentation des oberflächlichen Abflusses eine Mindesthanglänge erreicht und wegen der Limitierung der Partikelablösung eine maximale Hanglänge nicht überschritten wird.

Die im Rahmen des Bodenerosionsmessprogramms Sachsen eingesetzte Großberegnungsanlage mit 22*4 m Parzellengröße (MICHAEL 2000) erfüllt diese Voraussetzungen. Sie ist allerdings aufgrund ihrer Größe wenig praktikabel und sehr kostenaufwändig. Die an der TU Bergakademie Freiberg eingesetzte Kleinberegnungsanlage mit 3*1 m Parzellengröße lässt sich sehr viel schneller und effizienter einsetzen. Allerdings bildet sie aufgrund ihrer geringen Parzellengröße die Prozesse der Bodenerosion nicht adäquat ab. Die Effekte der Splash-Erosion werden gegenüber der Partikelablösung durch Oberflächenabfluss überschätzt. Deshalb wurde am oberen Ende der Parzelle ein Überstaumodul installiert, das die kontrollierte Einspeisung von sedimentbeladenem Wasser in die Parzelle ermöglicht. Das Experiment simuliert auf diese Weise die letzten 3 m eines beliebig langen Hanges (vgl. Abbildung 5).

Experimenteller Aufbau

Der Aufbau der Anlage orientiert sich an der von ASTALOSCH (1990) und SCHRAMM (1992) beschriebenen Großberegnungsanlage.

Die Kopplung von drei Beregnungsmodulen ermöglicht die Beregnung einer 3 m² großen Fläche, die durch einen Metallrahmen gegenüber der Umgebung abgegrenzt wird (vgl. Abbildung 5). Der Auffangkasten am unteren Ende des Rahmens wird in den Boden eingesetzt und im Übergang zur Parzelle abgedichtet. Am Kasten wird ein Ablaufrohr zum Auffangen von Oberflächenabfluss und Sediment angebracht. Das Modulgerüst wird über die höhenverstellbaren FüÙe konstant auf 2 m Höhe ausgerichtet.

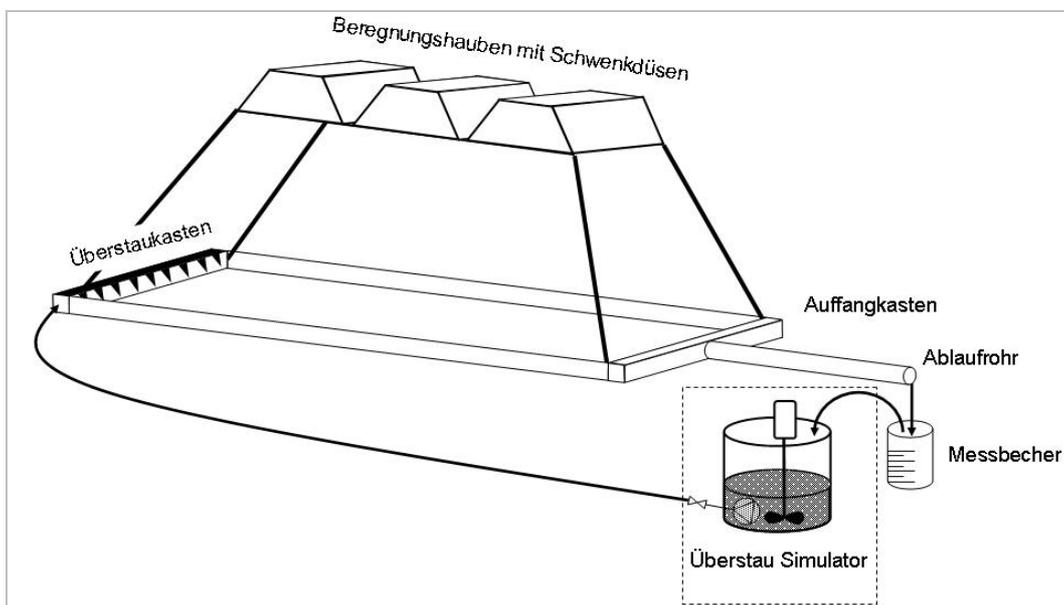


Abbildung 5: Aufbau der Beregnungsanlage

Am oberen Ende des Beregnungsrahmens befindet sich das Überstauomodul, in das mittels Schmutzwasserpumpe sedimentbeladenes Wasser eingespeist werden kann.

Die identischen Beregnungsmodul sind jeweils mit einer Flachstrahldüse ausgestattet, die über einen Getriebemotor über die Beregnungsfläche geschwenkt werden kann. Die Niederschlagsintensität wird über die Schwenkgeschwindigkeit und die Verweilzeit in den Umkehrpunkten geregelt. Auffangrinnen in den Hauben dienen zur Ableitung des Überschuswassers, während die Düsen an den Umkehrpunkten verweilen. Bei den Düsen handelt es sich um das Fabrikat VeeJet 80/100 der Fa. Spraying Systems, die aufgrund ihres mit natürlichen Starkregen vergleichbarem Tropfenspektrums und Energiegehaltes (J/m²*mm) einen Quasistandard darstellen (FOSTER et al. 1982, AUERSWALD et al 1992, KAINZ et al. 1992, HASSEL et al. 1992).

Um eine gleichmäßige Niederschlagsverteilung zu gewährleisten, müssen die Flachstrahldüsen über die Fläche bewegt werden. Die Niederschlagsintensität wird über die Schwenkgeschwindigkeit und die Verweilzeit in den Umkehrpunkten geregelt.

Der Düsenvordruck und die Niederschlagsintensität bestimmen das Tropfenspektrum und den Energiegehalt ($\text{J/m}^2 \text{ mm}$) bzw. die Impulsstromdichte (N/m^2) des produzierten Niederschlages. ZIMMERMANN (1989) untersuchte mittels Distrometer die durch VeeJet 80/100 an einem Kleinregner erzeugten Niederschläge für unterschiedliche Druckstufen. Verglichen mit den Angaben von DIEM (1971), WISCHMEIER et al. (1978) und BRANDT (1989) zu natürlichen Niederschlägen ergaben sich die besten Übereinstimmungen hinsichtlich Tropfenspektrum und Energiegehalt ($\text{J/m}^2 \text{ mm}$) der Niederschläge für 0,5 bar Düsenvordruck und $>30 \text{ mm}$ Niederschlag (ZIMMERMANN 1989, SCHRAMM 1994, GERLINGER 1997).

Durchführung des Beregnungsexperimentes

Vor Ort wird eine möglichst repräsentative Fläche als Versuchsfläche ausgewählt. Dabei ist zu berücksichtigen:

- Wie groß ist der Flächenanteil von Fahrspuren an der Gesamtfläche (Arbeitsbreite)?
- Wie hoch ist der Bedeckungsgrad der Gesamtfläche?
- Sind oberflächliche Einflüsse von Kleinsäugern zu erkennen (z. B. Mäuse)?
- Verlaufen die Saatreihen/Dämme in Gefällrichtung?

Nach Auswahl der Fläche wird diese abgesperrt, um ein versehentliches Betreten und Zerstören zu verhindern. Danach werden der Rahmen und die Anlage installiert. Der Düsenvordruck wird vor jedem Experiment über ein Druckminderungsventil geregelt. Die Beregnungsintensität wird über die Einstellung von Schwenkgeschwindigkeit und Verweildauer der Düsen in den Umkehrpunkten variiert. Die angestrebte Intensität orientiert sich an dem mittleren Wert von ca. 0.6 mm/min des Bodenerosionsmessprogramms Sachsen 1992 - 1995. Trotz sorgfältiger Voreinstellung der Anlagenparameter kann die Intensität leicht variieren. Um die genaue Intensität für das Einzelexperiment zu bestimmen, wird die Fläche mit einer Folie abgedeckt, um einen 100%igen Abfluss zu gewährleisten. Aus dem Abfluss kann dann der Niederschlag pro Flächeneinheit bestimmt werden. Nach Entfernen der Folie beginnt die eigentliche Messung. Die abfließende Wassermenge wird einminütig mit Hilfe eines Messbechers bestimmt. Im fünfminütigen Rhythmus erfolgt eine Probenahme des sedimentbeladenen Oberflächenabflusses zur späteren Bestimmung der Sedimentkonzentration im Labor.

Der restliche Oberflächenabfluss wird in einer 200-l-Tonne aufgefangen. Bei Erreichen konstanter Infiltrationsraten bzw. bei einer ausreichenden abgeflossenen Wassermenge (min. 50 l), wird der installierte Überstau zugeschaltet. Die Menge des Zustroms kann unter Feldbedingungen nicht genau bestimmt werden. Allerdings wird stets so viel sedimentbeladenes Wasser eingespeist, dass

eine virtuelle Hanglänge von 15 - 35 m erreicht wird. Die Einspeisung muss demzufolge das 5- bis 12-Fache des Durchflusses der letzten Minute betragen. Die Beprobung des Oberflächenabflusses erfolgt analog zum ersten Experimentteil, wobei die Entnahme der Sedimentproben einmütig erfolgt.

4.2.1.1 Parameterableitung

Bestimmung des Skinfaktors

Die Ermittlung des Skinfaktors (vgl. 3.1.2) wie auch des Erosionswiderstandes (s. u.) erfordert die vollständige Parametrisierung des Bodenerosionsmodells EROSION 2D, der Hangprofilversion von EROSION 3D. Dazu werden die folgenden parallel erhobenen Messdaten genutzt (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Ermittlung der Modelleingangsdaten

Eingangsparameter	Methode
Hangneigung	Messung
Niederschlagsintensität/-dauer	Messung
Korngröße	DIN ISO 11277
Lagerungsdichte	DIN ISO 11272
C _{org} -Gehalt	DIN ISO 10694
Bedeckung	Schätzung, Fotomethode
Oberflächenrauigkeit	Ermittlung über Fließgeschwindigkeit
Anfangsbodenfeuchte	DIN ISO 11272

Im Modell wird der Infiltrationsversuch mit den oben genannten Messdaten simuliert. Dabei wird über die Veränderung des Skinfaktors der Gesamtabfluss iterativ dem gemessenen Abfluss des Experimentes angepasst (vgl. Abbildung 6).

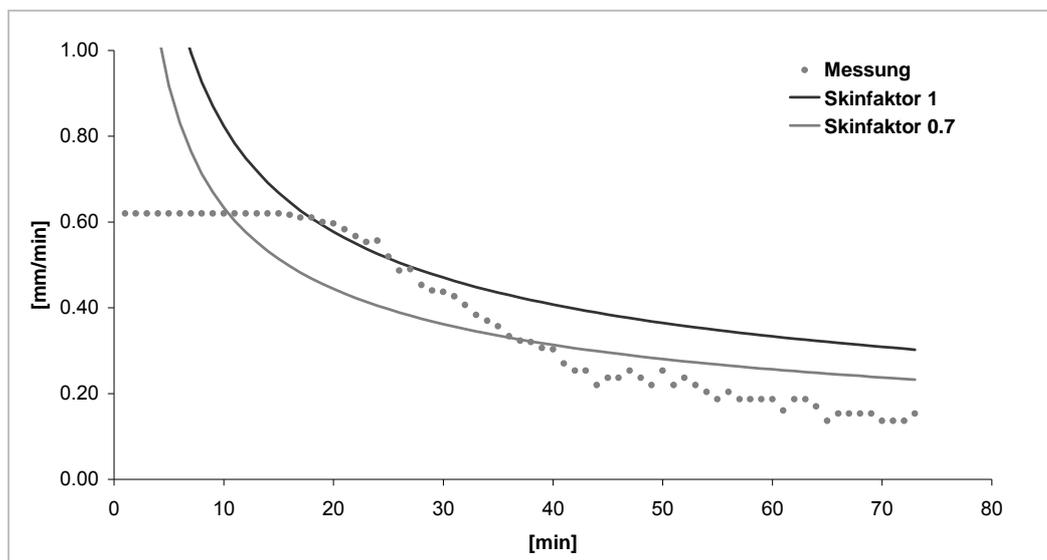


Abbildung 6: Kalibrierung der Infiltrationsrate über den Skinfaktor

Bestimmung des Erosionswiderstandes

Die Bezugsgrößen zur Ermittlung des bodenspezifischen Erosionswiderstandes (vgl. 3.1.2) sind die virtuelle Hanglänge der Versuchsparzelle, der Durchfluss und die gemessene Sedimentkonzentration im Beregnungsexperiment bei zusätzlichem Zustrom. Die virtuelle Hanglänge ergibt sich aus Gleichung 1 wie folgt:

$$(Gl. 1:)$$
$$vL_p = \frac{Q_{\bar{v}} \cdot L_p}{Q}$$

vL_p virtuelle Parzellenlänge

L_p Parzellenlänge

Q Durchfluss in der letzten Minute vor Überstau

$Q_{\bar{v}}$ Durchfluss mit Überstau.

Weiterhin sind folgende Annahmen notwendig:

- Die ermittelte Endinfiltration ist für den Zeitraum des Überstauexperiments konstant.
- Die über die Zeit des Zustroms gemittelte Sedimentkonzentration stellt den Bezugswert für den ersten Simulationszeitschritt nach Überstaubeginn dar.

Nach Anpassung der berechneten an die gemessene Abflussmenge über den Skinfaktor (vgl. Abbildung 6) wird der simulierte Sedimentaustrag durch Kalibrierung des Erosionswiderstandes der gemittelten Sedimentmenge im Strömungsexperiment angeglichen.

Bestimmung der Oberflächenrauigkeit

Durch Zugabe von Tracer-Farbstoff (Brillant-Blau) am oberen Ende der Parzelle kann die mittlere Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden. Daraus lässt sich gemäß der Gleichung 2 die Oberflächenrauigkeit nach MANNING n berechnen.

(Gl. 2:)
$$n = v_q^{-\frac{5}{3}} \cdot q^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

n Oberflächenrauigkeit nach MANNING [s/m^{1/3}]

v_q Fließgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses [m/s]

q Abflussrate [m³/(s*m)]

S Hangneigung [-]

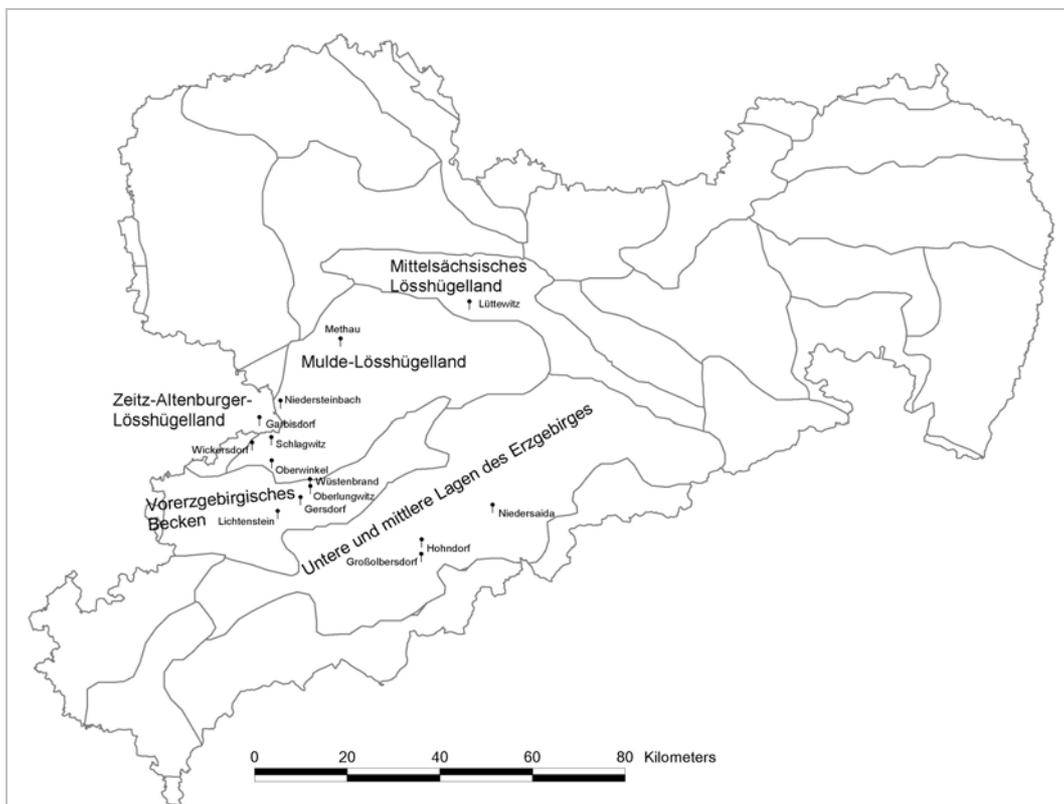


Abbildung 7: Untersuchungsstandorte und Bodenregionen

Untersuchungsflächen

Tabelle 3: Untersuchungsflächen zur Datenermittlung

Standort	Versuch- Nr.	Bearbeitung (Gerät)	Berechnungs-termin	Kultur	Stadium
Oberlungwitz	5	Konventionell	02.04.2008	SW	SB
Methau	10	Konventionell	06.05.2008	Z	2BS
Lüttewitz	13	Konventionell	14.05.2008	Z	KBS
Methau	24	Konventionell	21.10.2008	WW	SB
Lüttewitz	33	Konventionell	12.11.2008	WW	SB
Oberlungwitz	4	Konservierend	11.03.2008	SW	KBS
Methau	11	Konservierend (G)	07.05.2008	Z	2BS
Methau	12	Konservierend (ZR)	07.05.2008	Z	2BS
Lüttewitz	15	Konservierend (G)	15.05.2008	Z	KBS
Gersdorf	6	Konservierend	16.04.2008	SG	2BS
Hohndorf	7	Konservierend	23.04.2008	Ha	SB
Großolbersdorf	8	Konservierend	24.04.2008	SG	KBS
Hohndorf	19	Konservierend	17.09.2008	Stoppeln	
Wüstenbrand	21	Konservierend	02.10.2008	WW	SB
Methau	22	Konservierend (ZR)	07.10.2008	WG	2BS
Methau	23	Konservierend (G)	08.10.2008	WG	2BS
Niedersaida	25	Konservierend	14.10.2008	WG	6BS
Methau	28	Konservierend (ZR)	21.10.2008	WW	SB
Methau	27	Konservierend (G)	21.10.2008	WW	SB
Lichtenstein	29	Konservierend	11.04.2008	WW	2BS
Lüttewitz	30	Konservierend (G)	11.11.2008	WW	SB
Lüttewitz	31	Konservierend (G)	11.11.2008	WW	
Lüttewitz	14	Konservierend (Min)	14.05.2008	Z	KBS
Lüttewitz	32	Konservierend (Min)	12.11.2008	WW	SB
Niedersteinbach	1	Direktsaat	24.10.2007	WG	SB
Oberwinkel	2	Direktsaat	02.11.2007	Ra	6BS
Garbisdorf	3	Direktsaat	28.11.2007	Maisstroh	
Garbisdorf	9	Direktsaat	30.04.2008	AB	6BS
Wickersdorf	16	Direktsaat	20.05.2008	ZR	KBS
Schlagwitz	17	Direktsaat	29.05.2008	Ma	6BS
Oberwinkel	20	Direktsaat	23.09.2008	WW	
Oberwinkel	26	Direktsaat	15.10.2008	WW	2BS

(SW = Sommerweizen, Z = Zuckerrübe, WW = Winterweizen, SG = Sommergerste, Ha = Hafer, WG = Wintergerste, Ra = Raps, Ab = Ackerbohnen, Ma = Mais, SB = Saatbett, KBS = Keimblattstadium, BS = Blattstadium, G = Grubber, ZR = Zinkenrotor, Min = Minimalbodenbearbeitung mit Feingrubber 4 cm)

Um den Einfluss der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung auf Infiltration und Sedimentaustrag experimentell zu erfassen, wurden bevorzugt Untersuchungsflächen ausgewählt, die über einen Zeitraum von fünf Jahren durchgehend konservierend bewirtschaftet wurden (vgl. Abbildung 7 und Tabelle 3). Dabei dienen Flächen, die seit Durchführung des Bodenerosionsmessprogramms

konservierend bearbeitet werden, als Referenzflächen zur Validierung der Untersuchungsmethodik. Da Messwerte zur Infiltration und zum Sedimentaustag für Direktsaatflächen gänzlich fehlen, wurden diese zusätzlich in die Betrachtung mit einbezogen.

4.2.1.2 Validierungsstandorte

Die erosionsrelevanten Bodenparameter wurden im Vorhaben mit einer zum Bodenerosionsmessprogramm abweichenden Methodik ermittelt. Um die bestehende Datenbank mit diesen Daten korrigieren und erweitern zu können, mussten die Gültigkeit und die Vergleichbarkeit zu den Messdaten des Bodenerosionsmessprogramms gewährleistet werden. Zum Zweck der Validierung wurden Berechnungen auf unterschiedlich bearbeiteten Flächen des Bodenerosionsmessprogramms durchgeführt. Bei diesen Flächen handelt es sich um folgende, in Tabelle 4 dargestellten Standorte:

Tabelle 4: Validierungsstandorte

Standort	Landkreis	Bodenregion	Bearbeitung
Lüttewitz	Mittelsachsen	Mittelsächsisches Löss-Hügelland	Pflug Grubber* Direktsaat
Methau	Mittelsachsen	Mulde-Löss-Hügelland	Pflug Grubber* Zinkenrotor*
Wüstenbrand/Lichtenstein	Zwickau	Vorerzgebirgisches Becken	Grubber*

* Konservierende Bearbeitung

Konventionelle Bodenbearbeitung

Abgesehen von den Pflugvarianten der Validierungsflächen wurde eine weitere konventionell bearbeitete Fläche in Oberlungwitz (Landkreis Zwickau) im Vorerzgebirgischen Becken untersucht.

Konservierende Bodenbearbeitung

Flächen, auf denen konservierende Bodenbearbeitungsverfahren zum Einsatz kommen, bilden den Großteil der Untersuchungsflächen (n = 17). Um die Szenarienfähigkeit der neu entwickelten Datenbasis im Hinblick auf derzeitige Förderprogramme zu gewährleisten, wurden bis auf eine Ausnahme Standorte untersucht, die ≥ 5 Jahre nichtwendend bearbeitet wurden. Zu diesen Flächen zählen Gersdorf und Oberlungwitz (Landkreis Zwickau), Hohndorf, Großolbersdorf und Niedersaida (Landkreis Erzgebirgskreis).

Direktsaat

Aufgrund der geringen Verbreitung des Direktsaatverfahrens in Sachsen liegen die Schwerpunktfelder zur Parameterableitung in einem Landwirtschaftsbetrieb in Waldenburg/Ortsteil Oberwinkel (Landkreis Mittelsachsen). Für die Untersuchungen wurden sechs Schläge unterschiedlicher Fruchtarten untersucht. Die Direktsaatflächen in Lüttewitz (Tabelle 4) wurden der konservierenden Bodenbearbeitung zugeordnet, da eine flache Saatbettbereitung zur Zuckerrübe durchgeführt wird.

4.2.2 Ergänzung der DPROC-Datenbank mit Daten anderer Untersuchungen

Einige Untersuchungen der ehemaligen LfL und der TU Freiberg lieferten zur Ergänzung der Datenbank auswertbares Datenmaterial. Eine umfangreiche Zusammenstellung von Beregnungsdaten mit einer Kleinberegnungsanlage stellte ZIMMERLING (2004) zur Verfügung, die besonders im Zusammenhang mit dem Infiltrationsverhalten auf konservierend bearbeiteten Ackerflächen von Bedeutung ist.

Nach einer Validierung von Haubeninfiltrometerversuchen zur Ermittlung von Skinfaktoren durch HELBIG (2007) konnten GROSCH (2007) und REGER (2007) erstmals Skinfaktoren für Direktsaatflächen auf dieser Basis zur Verfügung stellen. Leider war die Verfügbarkeit von Daten zum Erosionswiderstand weitaus eingeschränkter, sodass nur vereinzelt Daten von SCHRAMM (1994) und DEUMLICH (1995) vor allem auf konventionell bearbeiteten Standorten zur Ergänzung herangezogen werden konnten.

4.2.3 Korrekturmaßnahmen

Die ursprüngliche DPROC-Datenbank basiert auf 129 Großberegnungsversuchen des Bodenerosionsmessprogramms und eingepflegten Daten aus Kleinberegnungsversuchen von ZIMMERLING (2004) sowie Haubeninfiltrometermessungen (GROSCH 2007, REGER 2007). Diese Datensätze wurden in Abhängigkeit zur Bodenart, Bodenbearbeitung, Feuchtezustand, Feldzustand, Entwicklungsstadium und Bestandsdichte in sinnvolle und parametrisierbare Kategorien mit in die DPROC-Datenbank eingeordnet (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Primärinformation und Kategorien der DPROC-Datenbankabfrage

Primärinformation	Kategorie
Bodenart	Ss-Tt
Bodenbearbeitung	Pflug, Grubber, Zinkenrotor, Direktsaat
Feuchtestufe	hoch (FK), normal, trocken (PWP)
Bodenzustand	normal, dicht, verschlämmt, gelockert
Bestandsdichte	gut, durchschnittlich, schlecht

Ss = reiner Sand; Tt = reiner Ton; FK = Feldkapazität; PWP = permanenter Welkepunkt

Da keine Informationen zur Zuordnung einzelner Datensätze in diesen Gruppen vorliegen, werden alle Daten neu kategorisiert, um Pflegemaßnahmen an der Datenbank zu erleichtern.

Kategorisierung

Die Zuordnung der Bodenart und Bearbeitung erfolgte über die Sekundärinformationen der Datensätze. Eine Unterteilung in verschiedene Feuchtestufen ist vor allem für die Ausprägung des Skinfaktors von Bedeutung. Mit abnehmender Bodenfeuchte nimmt die Wahrscheinlichkeit zu, dass die Bodenluft bei Wiederbefeuchtung nur unvollständig aus den Poren entweicht. Dieser sogenannte Luftpolstereffekt hat geringere Infiltrationsraten zur Folge, was sich in geringen Skinfaktoren der

Trockenläufe gegenüber den Feuchtläufen widerspiegelt. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass die Herleitung über Trocken- und Feuchtläufe des Bodenerosionsmessprogramms nicht zur Ableitung der Feuchtebedingungen ausreicht. Aus diesem Grund wurden Versuche in die Kategorie mit einbezogen, deren Anfangswassergehalt sich im Bereich der Feldkapazität befindet. Die Feldkapazität der einzelnen Bodendatensätze wurde mit Hilfe der KA 5 (AG Boden 2005) abgeleitet, da die Datensätze einiger Autoren nicht die nötigen Informationen für eine genaue Berechnung der Feldkapazität bereitstellten.

Trockene Standorte wurden nur selten berechnet, sodass von einer gesonderten Gruppierung dieser Versuche abgesehen wurde. Die Skinfaktorausprägung bei besonders trockenen Bedingungen diente zur Auffüllung der Datenbank als Schätzgrundlage.

Die Kategorie Bodenzustand unterscheidet vier Ausprägungen, die auf signifikanten Unterschieden der Parameter Erosionswiderstand, Skinfaktor und Lagerungsdichte in den Versuchsreihen basieren.

1. Der Bodenzustand „normal“ stellt den am häufigsten im Feld angetroffenen Bodenzustand dar.
2. Flächen, deren Oberbodenhorizonte nachweislich mit Walzen verdichtet wurden oder besonders hohe Lagerungsdichten aufweisen, besitzen häufig gegenüber dem Normalzustand erhöhte Skinfaktoren. Für den Erosionswiderstand ergeben sich gegenüber dem Normalzustand kaum Änderungen.
3. Verschlammte Flächen besitzen deutlich verringerte Infiltrationsraten, was durch eine Reduzierung des Skinfaktors abgebildet wird. Die Destabilisierung der Bodenaggregate führt darüber hinaus zu leicht verringerten Erosionswiderständen auf solchen Flächen.
4. Eine gelockerte Bodenoberfläche ist bei Versuchen nachweisbar, deren Lagerungsdichte im Trockenlauf deutlich geringer als im Feuchtlauf ist. Diese Lockerung führt analog zu verdichteten Versuchen zu verringerten Skinfaktoren. Die Schaffung kleiner Aggregate durch intensives Auflockern setzt den Erosionswiderstand leicht herab.

Auch innerhalb dieser Gruppen können die ermittelten Parameter erheblich schwanken. Es hat sich herausgestellt, dass die Wahl des arithmetischen Mittels zur plausiblen Beschreibung der parametrisierbaren Feldzustände unzureichend ist, da Ausreißer das Ergebnis zu stark beeinflussen. Aus diesem Grund wurde sich bei der Mittelwertbildung auf den Median beschränkt.

Korrektur des Skinfaktors

Der Anlass zur Korrektur des Skinfaktors aus Untersuchungen mit älteren Modellversionen ergab sich aus korrigierten Algorithmen zur Beschreibung des Matrixpotentials (SCHINDEWOLF 2009). Im Vorhaben wurden aus diesem Grund alle 129 Versuche des Bodenerosionsmessprogramms Sachsen und eines Vorprojektes (MICHAEL 2000) komplett neu parametrisiert und kalibriert. Basierend auf

diesen Ergebnissen wurden Regressionen zur Ermittlung von Skinfaktoren unvollständiger Datensätze anderer Autoren (DEUMLICH 1995, SCHRAMM 1994) abgeleitet (vgl. Abbildung A 1 – A4, Anhang).

4.2.4 Interne Korrekturen und Schaffung neuer Nutzungs-IDs

Die Prüfung der Software DPROC hat hinsichtlich der Parameterzuweisung für die Simulation mit EROSION 3D einige Unstimmigkeiten offengelegt. So wird der Gehalt organischen Kohlenstoffs für alle Bearbeitungsvarianten innerhalb einer Bodengruppe gleich angesetzt, obwohl nachweislich konservierend bearbeitete Flächen höhere C_{org} -Gehalte besitzen (MICHAEL 2000). Diese Daten sind Grundlage der Skinfaktorenermittlung und müssen deshalb auch für die Parametrisierung bereitgestellt werden. Der Parameter Lagerungsdichte wird ebenfalls nicht für die Bodenzustände gelockert und verdichtet angepasst, obwohl die Infiltrationsraten mit diesen Daten modelliert wurden.

Darüber hinaus wurden seit 2005 die InVeKoS-Nutzungseinheiten (z. B. Hutungen) erweitert, welche in der DPROC-Datenbank noch nicht aktualisiert vorlagen. Zusammengefasst ergaben sich für diesen Arbeitsschritt folgende Aufgaben:

- Bearbeitungsbedingte Anpassung des C_{org} -Gehaltes
- Bodenzustandsbedingte Anpassung der Lagerungsdichte
- Erweiterung der DPROC-Datenbank um neue Nutzungskategorien.

5 Ergebnisse

5.1 Geobasisdaten

5.1.1 Reliefdaten

ATKIS-DGM

Aufgrund der inkonsistenten Abbildung des Gewässernetzes Sachsen durch das offizielle DGM musste dieses an das offizielle Gewässernetz angepasst werden (vgl. 4.1.1).

Basierend auf den Ergebnissen der DGM-Korrektur wurden für 15 % der Raster Höhenänderungen durchgeführt. Dabei wurden ca. 11 % angehoben und 4 % gesenkt. Der Hauptumfang der veränderten Raster entfällt auf die Klassen zwischen -2.5 und 2.5 m (8 %), Pixel der Klassen -5 bis -2.5 m und 2.5 bis 5 m machen lediglich 3 % aus. Raster mit über 5 m oder unter -5 m Höhenänderung beschränken sich auf weniger als 1 % der Landesfläche (vgl. Abbildung 8).

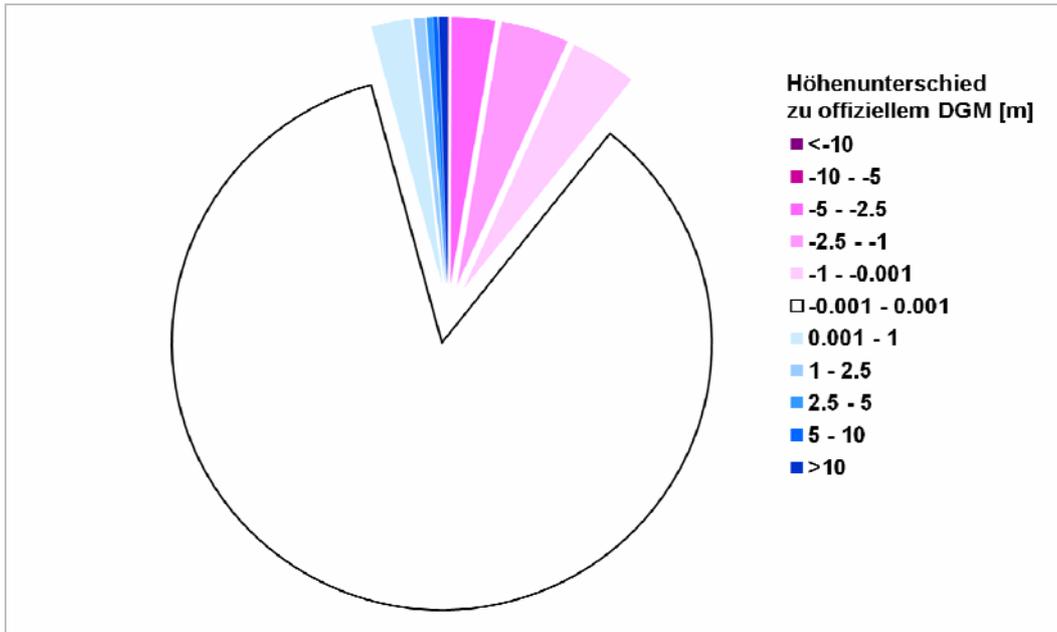


Abbildung 8: Flächenhafte Verteilung der Höhenklassenunterschiede im korrigierten DGM (Digitales Geländemodell)

Insgesamt wurde durch die Eintiefung der Gewässer die Neigung von 23 % der Raster verändert. 14,5 % wurden stärker geneigt und 8,5 % wurden abgeflacht. 17 % der Raster liegen unter +/- 2.5 % Neigungsänderung (vgl. Abbildung 9).

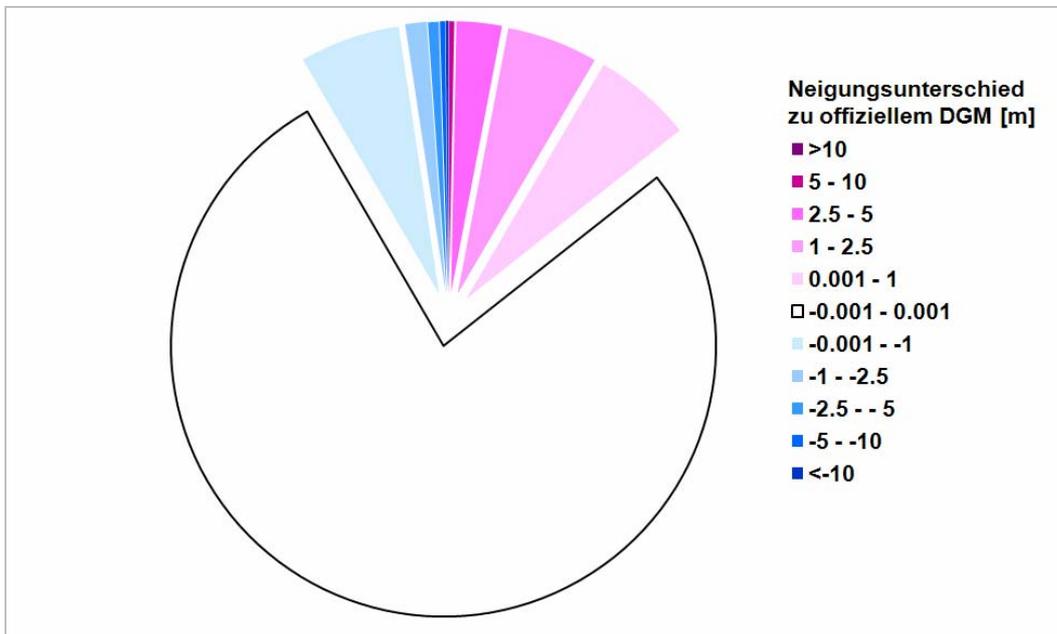


Abbildung 9: Flächenhafte Verteilung der Neigungsklassenunterschiede im korrigierten DGM (Digitales Geländemodell)

Durch eine Zunahme der Hangneigung vor allem in den Uferbereichen der Fließgewässer sind dort erhöhte Erosionsraten zu erwarten. Um jedoch den Verlauf der Vorfluter und die Verortung der Sedimentübertrittspunkte in Vorfluter zu optimieren, ist diese Vorgehensweise aus Sicht des Autors unumgänglich (vgl. Abbildung 10).

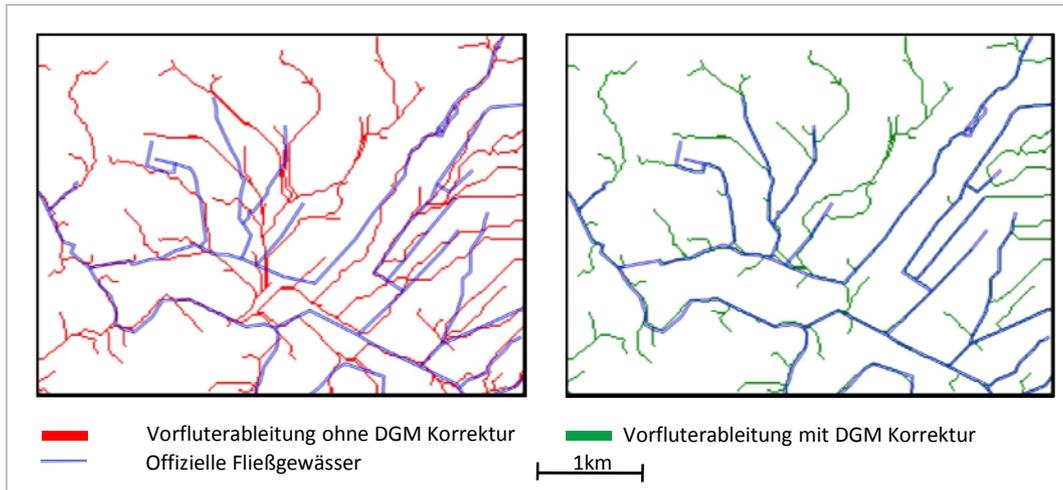


Abbildung 10: Vorfluterableitung ohne (links) und mit (rechts) DGM Korrektur im Bereich des Langen Grabens oberhalb der Mündung Niederauer Dorfbach östlich von Meißen (DGM = Digitales Geländemodell)

5.1.2 Landnutzungsdaten

ATKIS-DLM

Alle nicht kartierten Flächen Sachsens wurden mit Hilfe der Orthophotos nachklassifiziert und sind in Abbildung 11 grafisch dargestellt. Den größten Anteil der insgesamt 388.9 km² nehmen die DPROC-Objektgruppen „bewachsener Weg“ und „unbefestigter Weg“ ein, die sich im Bereich aktiver oder in Renaturierung begriffener Tagebaue befinden. Die Objektklassen „Wiese“, „Ruderalvegetation“ und „Wald/Forst“ wurden vor allem für ehemalige Truppenübungsplätze und Forstareale im Osten Sachsens vergeben. Bei „bebauten Flächen“ handelt es sich in der Mehrzahl um Neubausiedlungen. Den flächenmäßig größten Anteil der Objektgruppe „Wasser“ nehmen geflutete Tagebaurestlöcher ein. Den relativ großen Anteil nicht kartierter „Straße“ bildet fast ausschließlich ein Abschnitt der Autobahn 72 zwischen Plauen und Chemnitz. Die übrigen Objektgruppen „Ackerland“, „Bahnkörper“ und „Garten“ sind flächenmäßig unbedeutend.

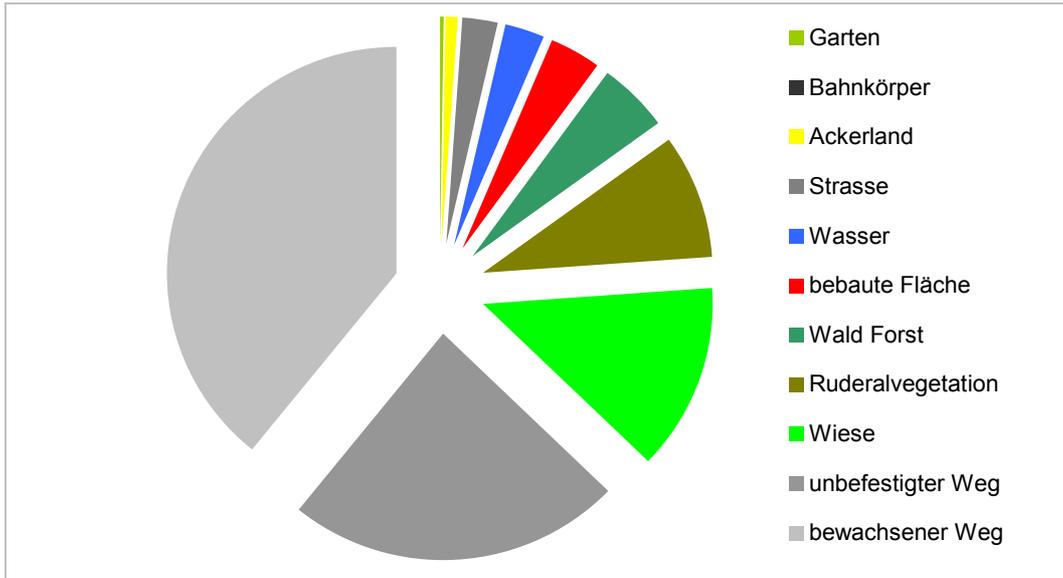


Abbildung 11: Flächenanteile der korrigierten DPROC-Objektgruppen des ATKIS-DLM Sachsen

InVeKoS

Aus der InVeKoS-Datenbank werden den Geometrien der Feldblöcke mit Hilfe der Parametrisierungssoftware DPROC parametrisierbare Objektgruppen zugewiesen. Neben 25 % Grünland bilden Winterweizen (22 %), Raps (17 %) und Wintergerste (11%) den Hauptanbauschwerpunkt. Nicht zu vernachlässigende Anteile bilden Ruderalvegetation (6 %) auf Stilllegungsflächen und Sommergerste (6.5 %) (vgl. Abbildung 12). Alle übrigen Kulturen sind für die Gesamtlandesfläche flächenmäßig unbedeutend.

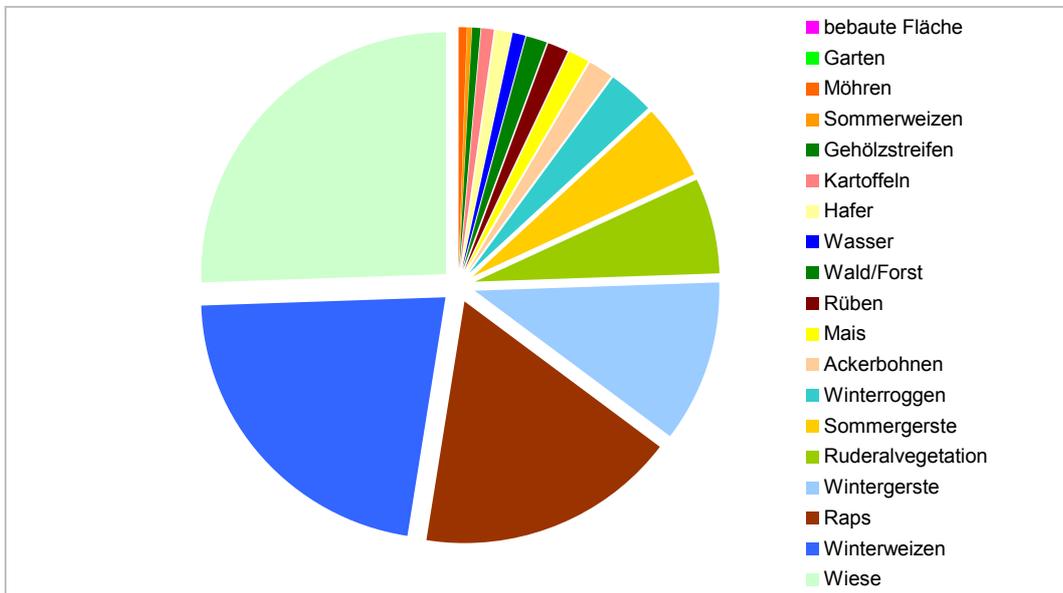


Abbildung 12: Flächenanteile abgeleiteter DPROC-Objektgruppen aus der InVeKoS-Datenbank Sachsen

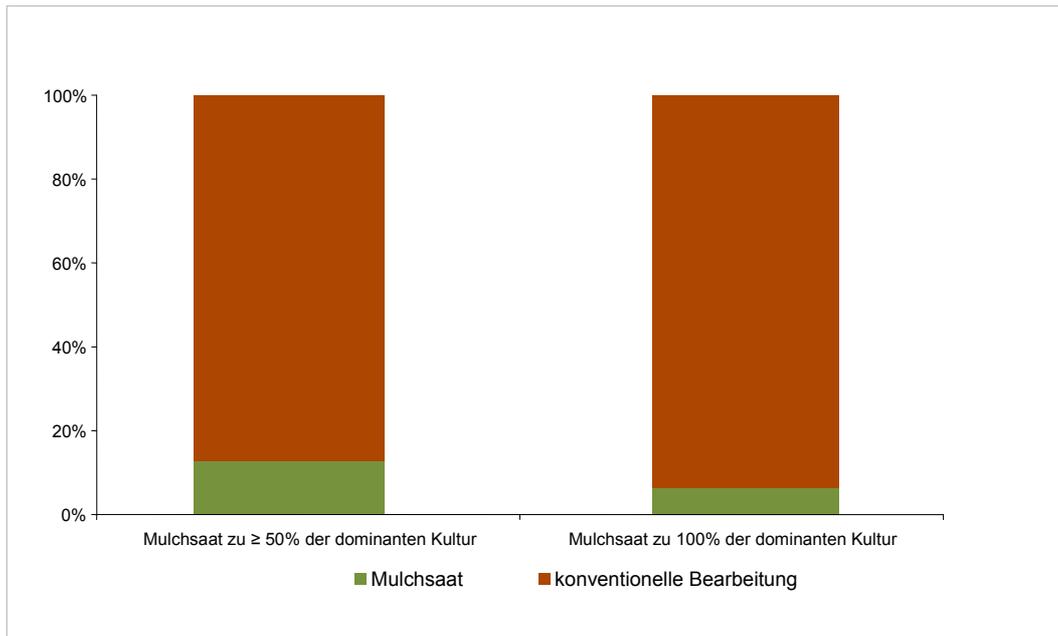


Abbildung 13: Flächenanteile der Mulchsaatflächen in Sachsen

Aus der Datenbank zur Zusatzförderung II (LFL 2006) wurden darüber hinaus die Feldblöcke bestimmt, auf denen Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung durchgeführt wurden. Hierbei ergaben sich die gleichen Verortungsprobleme wie bei der Ableitung einer dominanten Kulturart. Deshalb wurden zwei verschiedene Ableitungsvorschriften angewendet. Der Feldblock gilt als konservierend bearbeitet, wenn mindestens 50 % der Fläche der dominierenden Kultur in Mulchsaat bestellt wurden. Mit dieser Annahme wurden 12 % der Landesfläche im Ist-Stand-Szenario als konservierend parametrisiert. Diese Bearbeitungskulisse lag der nachfolgenden Simulation des Ist-Stand-Szenarios (5.4.2) zugrunde. Die Annahme, dass ein Feldblock nur dann als konservierend bewirtschaftet gilt, wenn die dominante Kultur zu 100 % in Mulchsaat bestellt wurde, lieferte dagegen nur einen Anteil von 6 % an Mulchsaatflächen (vgl. Abbildung 13).

5.1.3 Bodendaten

Bodenatlas Sachsen (BSA)

Die Leerflächen des Bodenatlas Sachsen befinden sich überwiegend im Bereich von Siedlungen und Wasserflächen. Diesen Polygonen wurden in Abhängigkeit der Nachbarpolygone manuell plausible Bodenarten zugewiesen. Dabei entfallen 77 % auf Sandboden, wovon 22 % als reine Sande (Ss) im Norden Sachsens und für Stadtböden vergeben wurden. Für 14 % der Leerflächen wurden Schluffe und für 9 % Lehme vergeben (vgl. Abbildung 14).

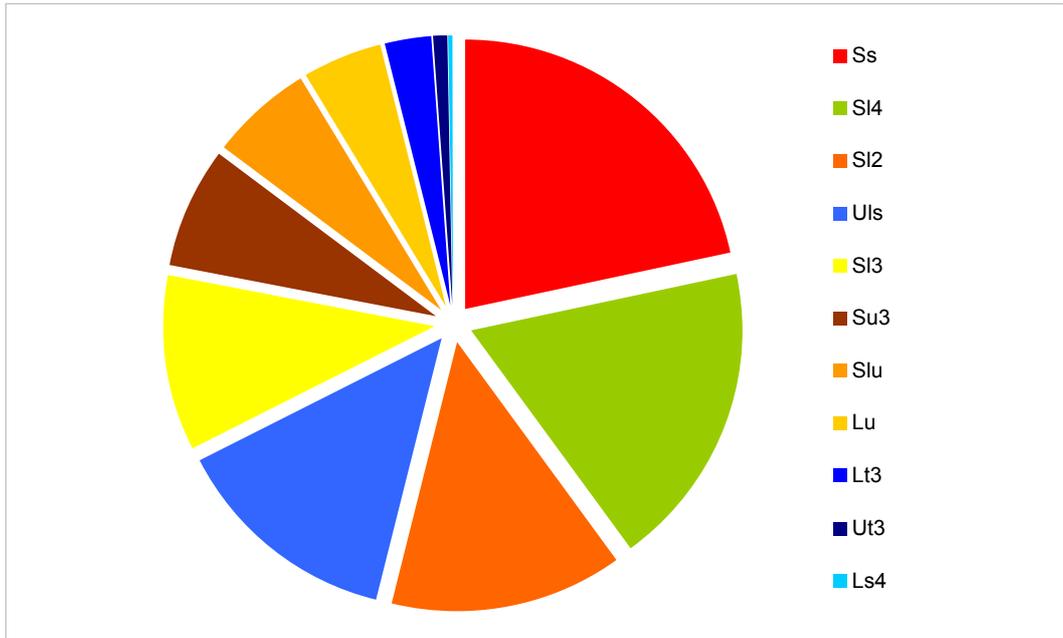


Abbildung 14: Flächenanteile ergänzter Polygone des Bodenatlas Sachsen

5.1.4 Andere Flächendaten

Einzugsgebiete

Bei der Prüfung der offiziellen Einzugsgebiete wurden 15 Gebiete identifiziert, die z. B. aus mehreren Polygonen bestehen oder deren Polygon durch andere Gebiete unterbrochen werden.

In Tabelle 6 sind die fehlerhaften Gebiete und entsprechende Korrekturmaßnahmen dargestellt.

Tabelle 6: Fehlerhafte Einzugsgebiete und Korrekturmaßnahmen

Gewässerkennzahl (GKZ)	Fehler	Korrekturmaßnahme
532169	mehrere Polygone	verbunden
53736821	mehrere Polygone	mit 53736823 verbunden
53736822	mehrere Polygone	mit 53736824 verbunden
537469	mehrere Polygone	gelöscht und aufgefüllt
549639	mehrere Polygone	gelöscht und aufgefüllt
549686	GKZ dreimal vergeben	zu 549689 verbunden
549688	mehrere Polygone	verbunden
561562	mehrere Polygone	außerhalb der Landesgrenze verbunden
56582	mehrere Polygone	verbunden
56584	mehrere Polygone	verbunden
56584	mehrere Polygone	verbunden
566639	mehrere Polygone	außerhalb der Sachsgrenze verbunden
5666921	mehrere Polygone	gelöscht

5.2 Ergänzung und Korrektur der DPROC-Datenbank

5.2.1 Ergänzung der DPROC-Datenbank mit selbst ermittelten Daten

Plausibilitätsprüfung Erosionswiderstand

Um aus experimentell bestimmten Daten nutzbare Modellparameter ableiten zu können, mussten die Ergebnisse zunächst auf Plausibilität geprüft werden. Das Beregnungsexperiment besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil dient der Ermittlung der Infiltrationsrate. Der zweite Simulationsschritt beginnt mit der Einspeisung von Zuschusswasser. Aus Abbildung 15 wird ersichtlich, dass im zweiten Simulationsschritt Abflussvolumenstrom und Sedimentmassenstrom um ≥ 1 Dimensionen zunehmen.

Darüber hinaus lässt sich ein linearer Zusammenhang zwischen Abflussvolumenstrom und Sedimentmassenstrom nachweisen, der jedoch für die verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren unterschiedlich ausgeprägt ist (vgl. Abbildung 16).

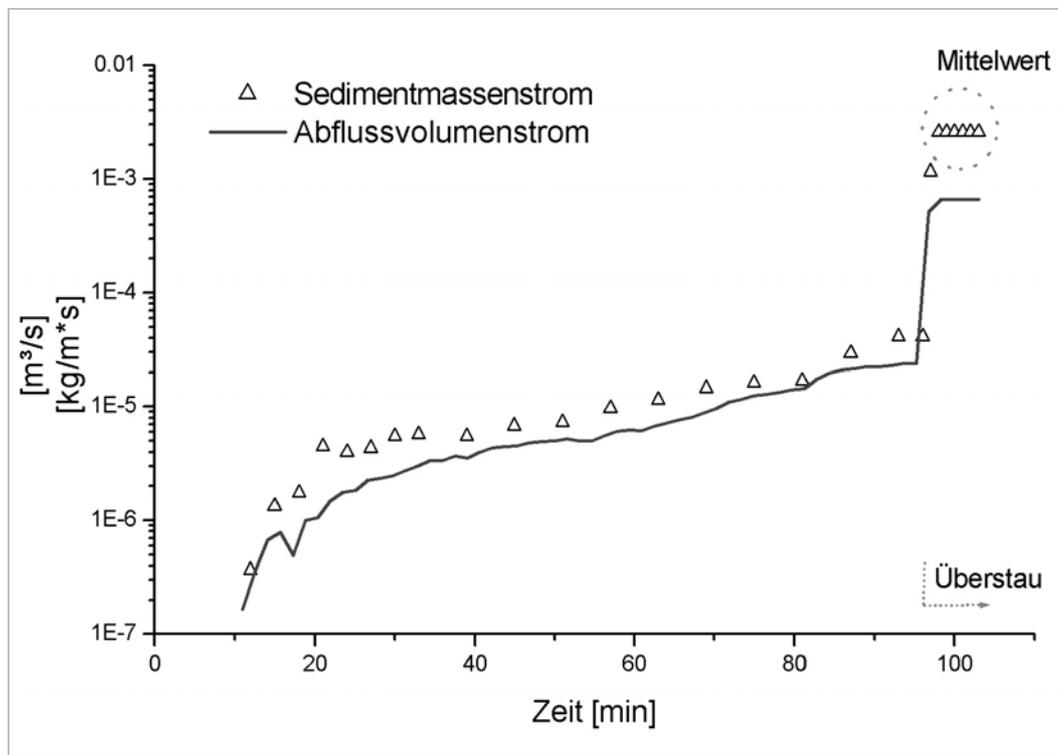


Abbildung 15: Abflussvolumenstrom und Sedimentmassenstrom in einer Beregnungssimulation

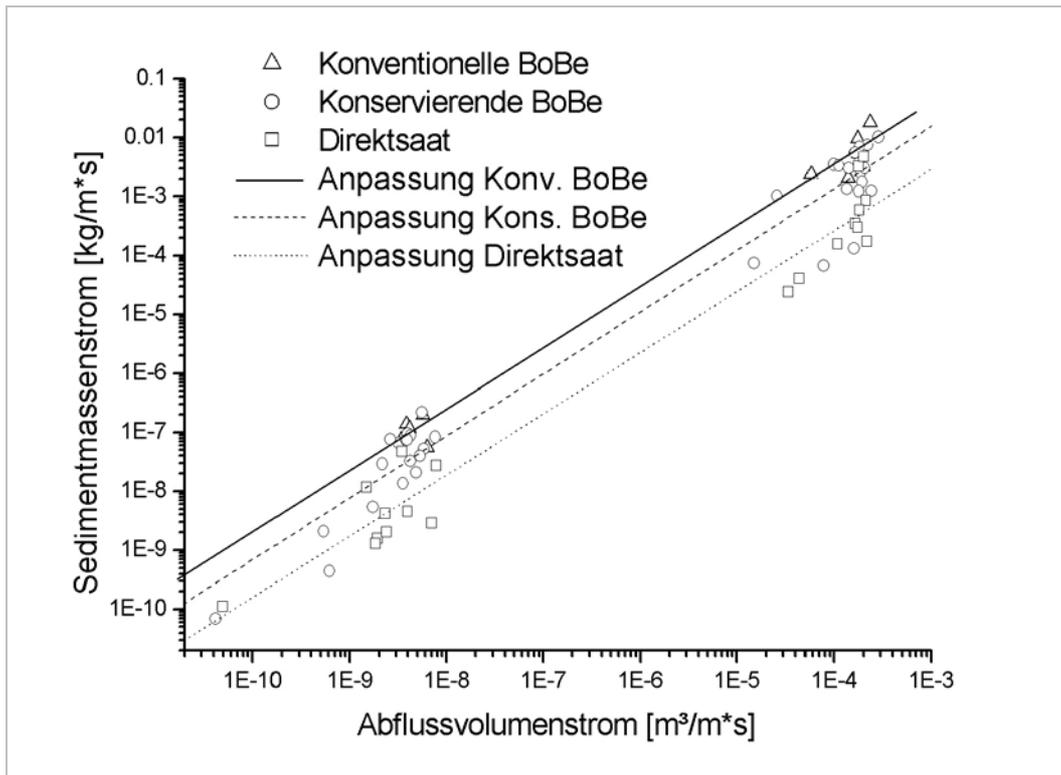


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen Sedimentmassenstrom mit und ohne Input von Zuschusswasser, potenzielle Anpassung (BoBe = Bodenbearbeitung)

Im Modell Erosion 3D ist der Impulsstrom des Oberflächenabflusses in starkem Maße von der Fließgeschwindigkeit (s. Gl. 3) abhängig, die durch die Rauigkeit der Bodenoberfläche und die Neigung beeinflusst wird (s. Gl. 1).

$$(Gl. 3) \quad \varphi_q = q * \rho_q * v_q * \Delta y$$

- φ_q = Impulsstrom des Oberflächenabflusses
- q = Abflussrate [m³/m*s]
- ρ_q = Flüssigkeitsdichte [kg/m³]
- v_q = Fließgeschwindigkeit des Abflusses [m/s]
- Δy = Breite des Hangsegments [m]

Somit entscheidet die Qualität der gemessenen Rauigkeitsdaten direkt über die Zuverlässigkeit der ermittelten effektiven Erosionswiderstände. In einer 3 m großen Versuchsparzelle ist die Ermittlung der Rauigkeit aus Fließgeschwindigkeitsmessungen aufgrund der geringen Parzellenlänge schwierig. Zwischen Bodenbedeckung und Rauigkeit konnte eine relativ enge Beziehung festgestellt wer-

den (vgl. Abbildung 17), die mit einer sigmoidalen Anpassung ein Bestimmtheitsmaß von 0.884 erreicht, was auf plausible Rauigkeitswerte schließen lässt.

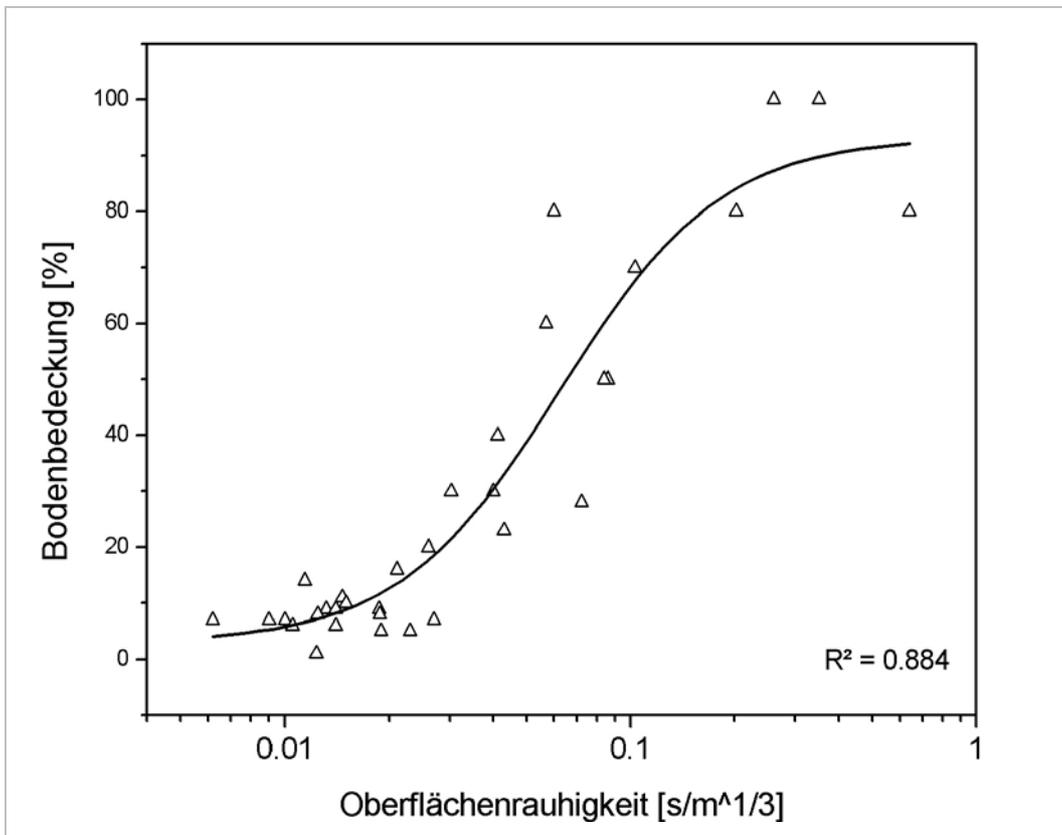


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen Oberflächenrauigkeit und Bodenbedeckung

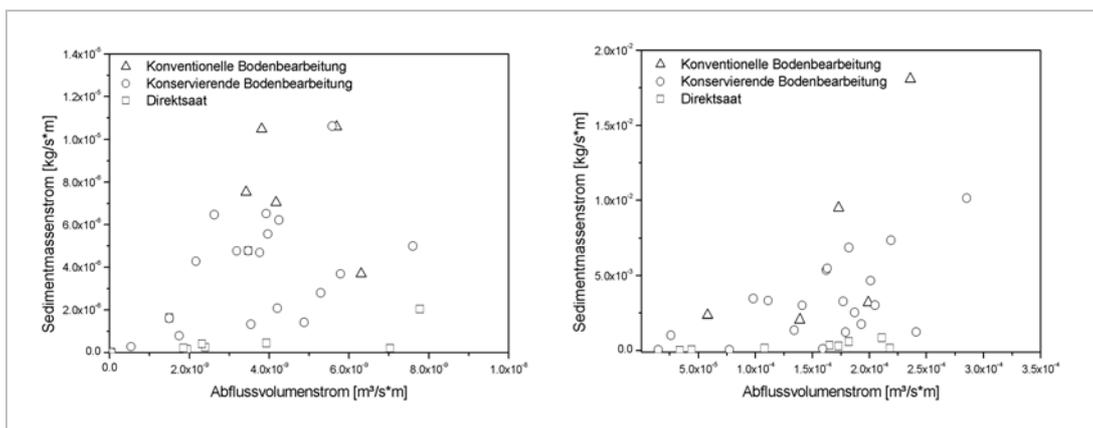


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Sedimentmassenstrom und Abflussvolumenstrom (ohne Überstau links, mit Überstau rechts, unterschiedliche Skalierung)

In Abbildung 18 sind die Zusammenhänge zwischen Abflussvolumenstrom und Sedimentmassenstrom dargestellt. Die Anpassung belegt die exponentielle Zunahme der Massenströme mit wachsendem Durchfluss.

Bei geringen Volumenströmen überwiegt Splash-Erosion, was sich in der großen Streuung der Sedimentmassenströme widerspiegelt (Abbildung 18, links).

Methodenvalidierung

Die Validierung der neu ermittelten Modellparameter erfolgt unter Bezug auf Flächen, für die bereits Mitte der 1990er-Jahre Werte ermittelt wurden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 19 bis Abbildung 21 dargestellt. Im Mittelpunkt der Validierung steht der Parameter Erosionswiderstand, da Skinfaktor und Oberflächenrauigkeit auch ohne Überstauexperiment ermittelt werden können. Die Ergebnisse zum Skinfaktor und zur Oberflächenrauigkeit sind dargestellt, da sie die Interpretation der Erosionswiderstände erleichtern.

In Abbildung 19 bis Abbildung 21 werden jeweils nur gleiche Kulturen und ähnliche Entwicklungsstadien miteinander verglichen. Fanden auf den Flächen in der Kampagne des Bodenerosionsmessprogramms Sachsen mehrere Versuche statt, werden Mittelwert und Schwankungsbreite der erhobenen Daten angegeben. Neu erhobene Daten für Direktsaatflächen konnten für ehemalige Flächen nicht validiert werden, da dieses Verfahren zur damaligen Zeit noch nicht angewendet wurde. Sie werden an dieser Stelle vergleichend aufgeführt.

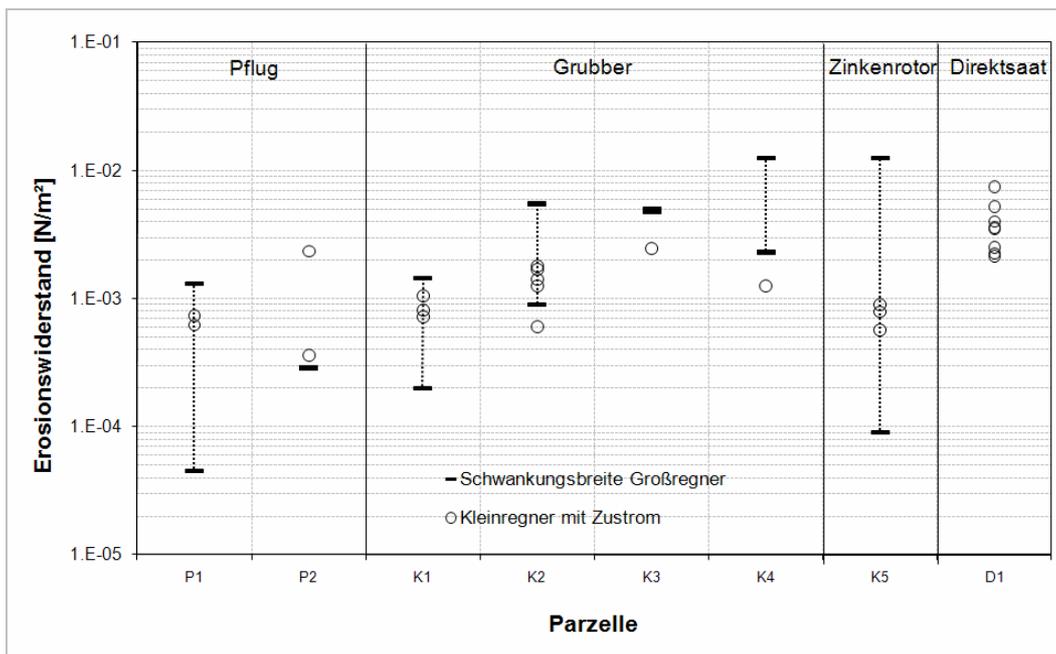


Abbildung 19: Ergebnisse der Methodenvalidierung auf den Testflächen des Bodenerosionsmessprogramms von 1994 - 1996 für den Parameter Erosionswiderstand (P = Pflug, K = konservierende Bodenbearbeitung, D = Direktsaat)

Grundsätzlich liegen die neu erhobenen Erosionswiderstände in der gesamten Schwankungsbreite der Daten der früheren Kampagne. Unterschiede werden beim Vergleich der einzelnen Bearbeitungsverfahren deutlich. Dabei liegen die neu ermittelten Erosionswiderstände für die gepflügten Flächen tendenziell über denen des alten Programms. Im Unterschied dazu liegen die für die konservierende Bearbeitung gemessenen Erosionswiderstände im neuen Programm unter denen des alten, wobei diese Aussage für die gegrubberten Flächen eher zutrifft als für jene, die mit Zinkenrotor bearbeitet wurden. Der generelle Trend sinkender Erosionswiderstände mit zunehmender Bearbeitungsintensität (Direktsaat - Grubber - Zinkenrotor - Pflug) lässt sich mit den neu ermittelten Daten ebenso wie mit den alten nachweisen.

Es wird eingeschätzt, dass die Gültigkeit der Methode zur Ermittlung von Erosionswiderständen mittels Kleinberegnungsanlage und Überstauexperiment hinreichend gegeben ist. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Flächen basieren zum einen auf unterschiedlichen Feldzuständen der alten und neuen Versuche. Unter Freilandbedingungen ist es nahezu unmöglich, die gleichen Parameterkonstellationen zu unterschiedlichen Zeitpunkten vorzufinden. Darüber hinaus ist nicht bekannt, was im Zeitraum von 13 - 15 Jahren auf den Untersuchungsflächen hinsichtlich ausgebrachter Dünger-, Kalk- oder Güllemengen stattgefunden hat. Diese Einträge können einen erheblichen Einfluss auf die Stabilität der Bodenaggregate und damit auf den Erosionswiderstand haben.

Im Zuge der neueren Kampagne tragen die Methoden der konservierenden Bodenbearbeitung in weniger starkem Maße zu einer Verbesserung des Erosionswiderstandes bei als das vor 15 Jahren der Fall war. Damals wurden diese Maßnahmen lediglich ein bis wenige Jahre durchgeführt. Da keine Informationen zum Management der letzten 15 Jahre zur Verfügung stehen, liegt die Annahme nahe, dass sich trotz konservierender Bodenbearbeitungsverfahren die Intensität der Bodenbearbeitung erhöht hat. Diese Vermutung unterstützen die Messwerte für den Skinfaktor und die Oberflächenrauigkeit auf den gleichen Testflächen, die in Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellt sind.

Dabei werden die Daten des alten Programms sowohl für den Skinfaktor als auch für die Oberflächenrauigkeit für gepflügte Flächen relativ gut reproduziert. Die konservierend bearbeiteten Flächen weisen jedoch analog zum Erosionswiderstand nahezu durchgehend geringere Skinfaktoren im Vergleich zu den Untersuchungen der Jahre 1993 - 1996 auf.

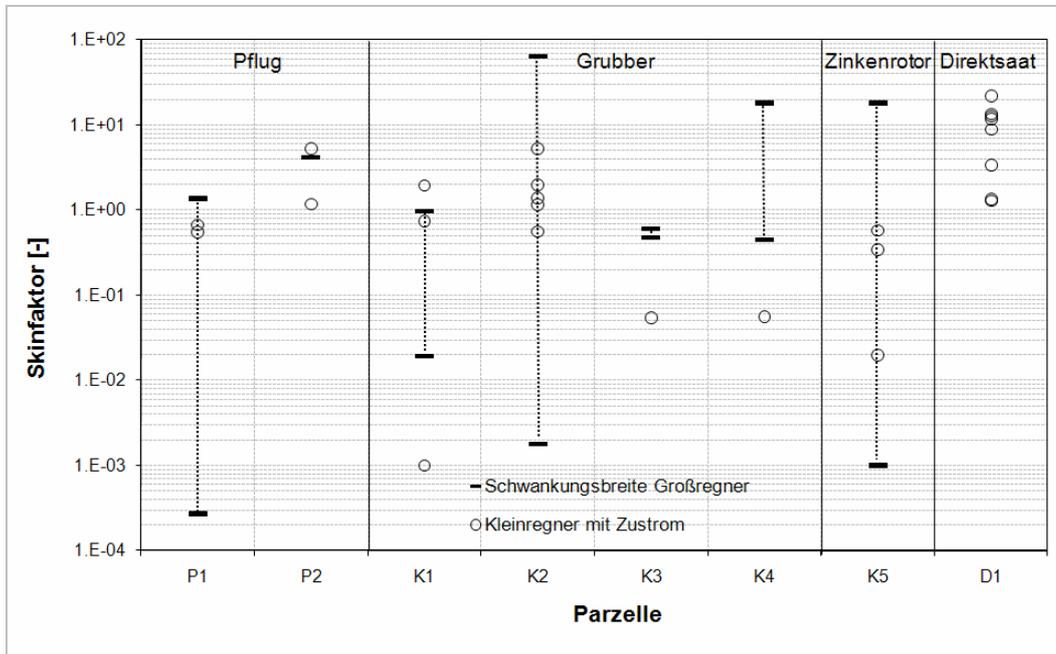


Abbildung 20: Ergebnisse der Methodenvvalidierung auf den Testflächen des Bodenerosionsmessprogramms von 1994 - 1996 für den Parameter Skinfaktor (P = Pflug, K = konservierende Bodenbearbeitung, D = Direktsaat)

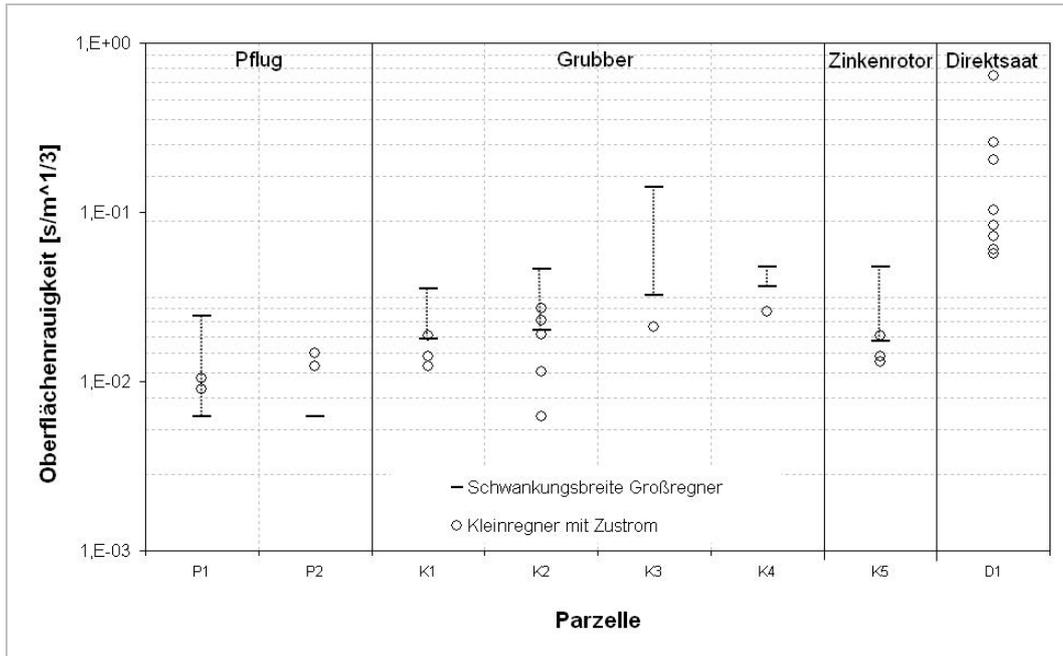


Abbildung 21: Ergebnisse der Methodvalidierung auf den Testflächen des Bodenerosionsmessprogramms von 1994 - 1996 für den Parameter Oberflächenrauigkeit (P = Pflug, K = konservierende Bodenbearbeitung, D = Direktsaat)

5.2.2 Flächen dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung

Bereits bei der Methodvalidierung (vgl. 5.2.1) wird deutlich, dass Flächen konservierender Bodenbearbeitung im Vergleich zum Bodenerosionsmessprogramm schlechtere Eigenschaften bezüglich Infiltration und Partikelablösung besitzen. Dieser Trend setzt sich auf den Versuchsflächen dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung fort. Das betrifft insbesondere die Parameter Erosionswiderstand und Skinfaktor (vgl. Abbildung 22 und Abbildung 24). Die Oberflächenrauigkeit wird durch die neuen Untersuchungen relativ gut reproduziert (vgl. Abbildung 25).

Besonders gravierend sind die Unterschiede für den Parameter Skinfaktor, der für den Median eine Dimension niedriger ermittelt und nicht einmal durch die Maximalwerte der neuen Messung erreicht wird.

Es darf an dieser Stelle nicht der Eindruck entstehen, dass eine konservierende Bodenbearbeitung generell zu einer Verschlechterung der Infiltrationskapazität des Bodens führt, da die jeweilige Parameterkonstellation, insbesondere die Ausprägung der Lagerungsdichte und des C_{org} -Gehaltes in der Ableitung des Skinfaktor enthalten sind. Abbildung 23 macht deutlich, dass das Potenzial zur Erhöhung der Infiltration bei konservierender Bewirtschaftung deutlich höher als bei konventioneller Bewirtschaftung ist. Dieses Potenzial wird allerdings basierend auf den Ergebnissen der neuen Kampagne weniger gut ausgeschöpft als es im Bodenerosionsmessprogramm Sachsen der Fall war.

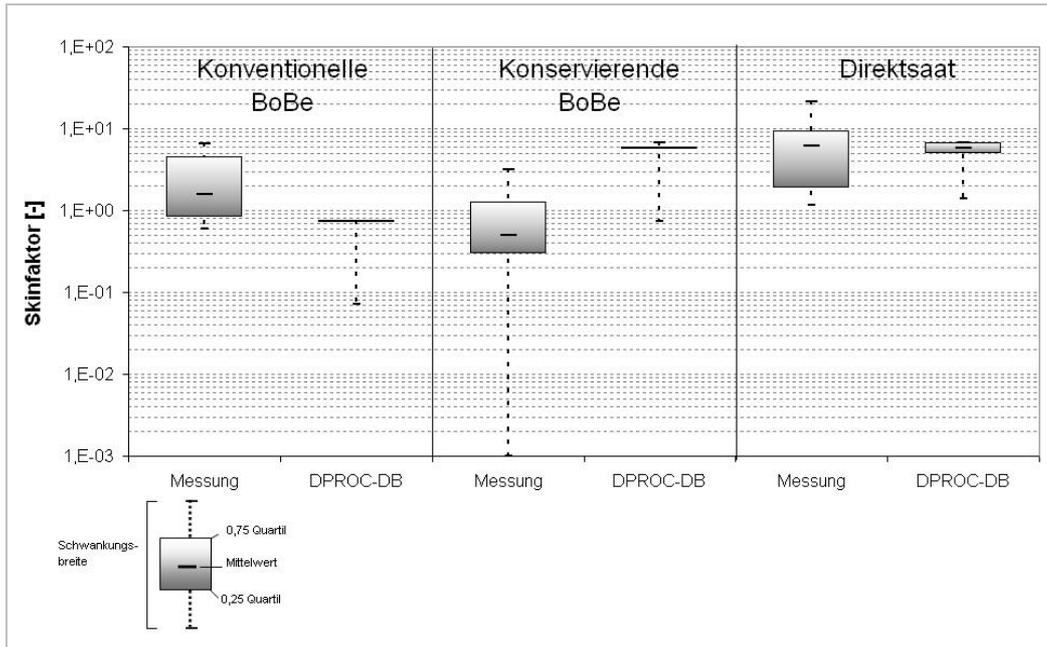


Abbildung 22: Vergleich der neu ermittelten Messwerte mit den Daten des Parameterkataloges Sachsen für den Parameter Skinfaktor (BoBe = Bodenbearbeitung; DPROC-DB = Parameterdatenbank des Datenbankprozessors)

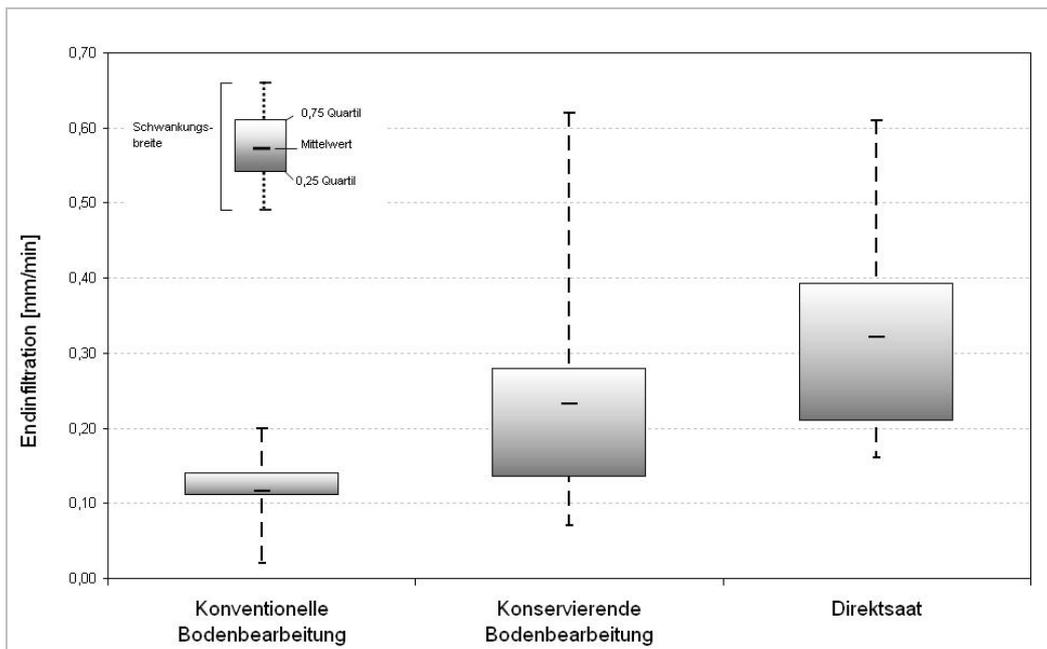


Abbildung 23: Vergleich der Endinfiltrationsraten für verschiedene Bodenbearbeitungsformen

Diese Tatsache trifft auch für den Parameter Erosionswiderstand ($0.0017 - 0.0059 \text{ N/m}^2$) zu, der im Median ebenfalls eine halbe Dimension geringer gemessen wurde, obwohl die Daten in der Gesamtschwankungsbreite der Ergebnisse des Bodenerosionsmessprogramms liegen.

Die Ursachen für die deutlichen Abweichungen beider Parameter liegen wahrscheinlich in einer intensiven nichtwendenden Bearbeitung auf diesen Flächen und können nur durch weitere Felduntersuchungen ausreichend geklärt werden.

Diese Erkenntnis macht Nachbesserungen in der Datenbank erforderlich. Diese Nachbesserungen betreffen sowohl die Ausprägungen der jeweiligen Parameter für die Normalzustände der Böden als auch für „verschlammte“, „verdichtete“ und „gelockerte Zustände“, da diese in der alten Datenbank nur unzureichend parametrisiert wurden. Auszüge der umfassenden Parameteranpassungen sind in Tabelle 7 und Tabelle 8 dargestellt.

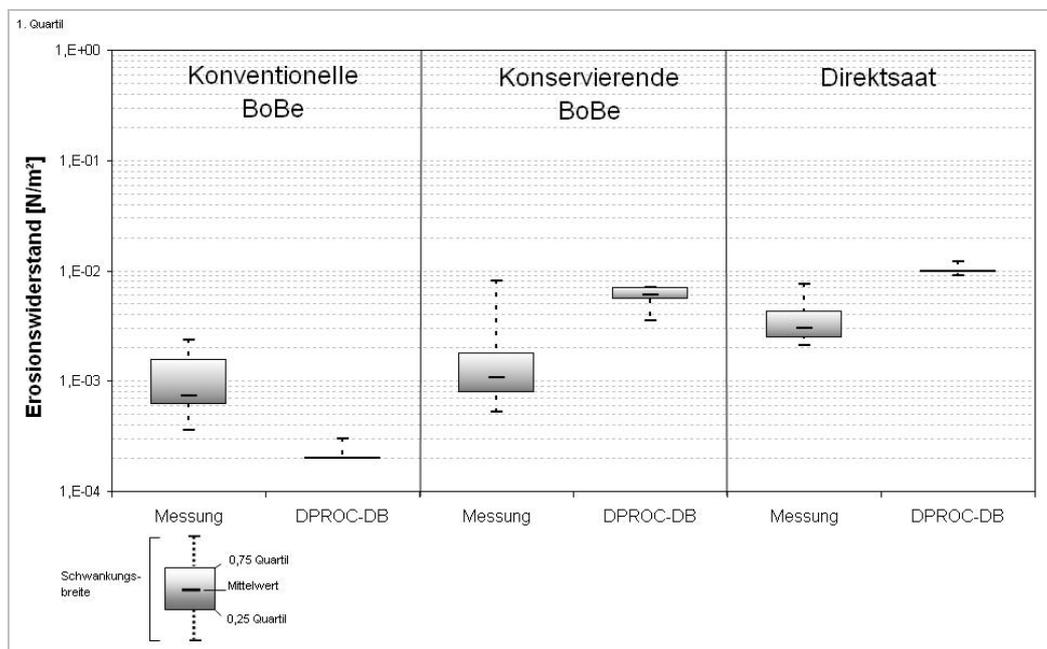


Abbildung 24: Vergleich der neu ermittelten Messwerte mit den Daten des Parameterkataloges Sachsen für den Parameter Erosionswiderstand (BoBe = Bodenbearbeitung; DPROC-DB = Parameterdatenbank des Datenbankprozessors)

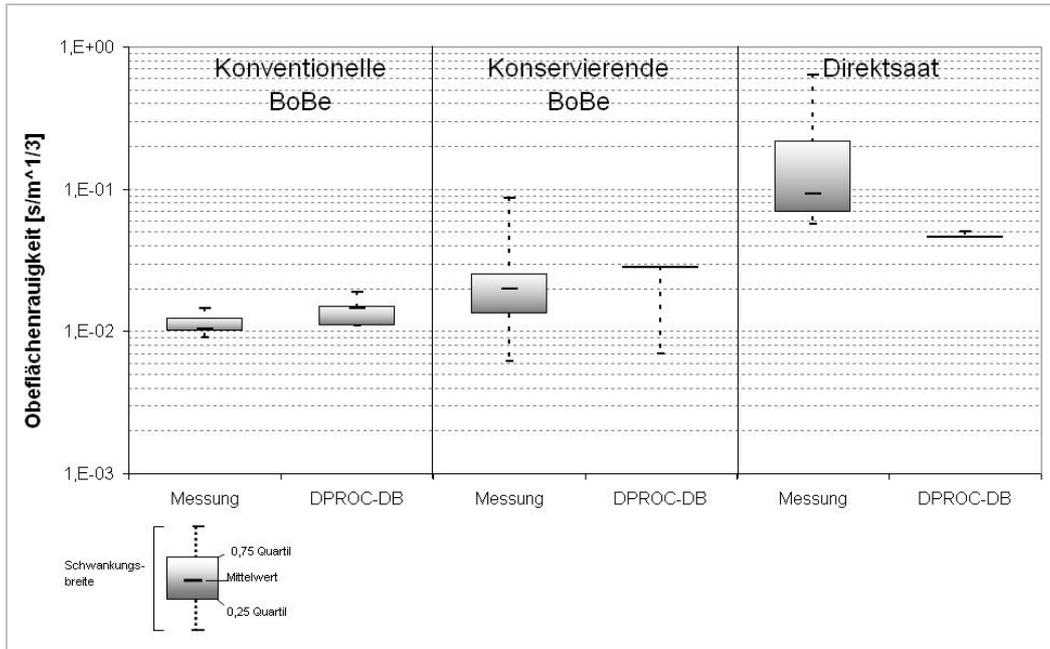


Abbildung 25: Vergleich der neu ermittelten Messwerte mit den Daten des Parameterkataloges Sachsen für den Parameter Oberflächenrauigkeit (BoBe = Bodenbearbeitung; DPROC-DB = Parameterdatenbank des Datenbankprozessors)

Tabelle 7: Änderung der Skinfaktoren für konservierende Bodenbearbeitung (Grubber, Winterweizen, Ut4)

Entwicklungszustand	Bodenzustand	Feuchtestufe	Skinfaktor alt [-]	Skinfaktor neu [-]
Saatbett	normal	trocken	6	0.2
		normal	6	0.44
		feucht	6	1.72
	gelockert	trocken	1	0.04
		normal	1	0.24
		feucht	1	1.5
	verschlämmt	trocken	15	0.02
		normal	15	0.52
		feucht	15	1.1
	verdichtet	trocken	5	1
		normal	5	3.0
		feucht	5	5
2-6 Blattstadium	normal	trocken	9	0.3
		normal	9	0.9
		feucht	9	3.9
	gelockert	trocken	3	0.03
		normal	3	0.1
		feucht	3	0.5
	verschlämmt	trocken	1	0.2
		normal	1	0.62
		feucht	1	2
	verdichtet	trocken	1	1.5
		normal	1	5
		feucht	1	10
Bestockung/Schossen	normal	trocken	12	0.02
		normal	12	0.4
		feucht	12	1
	gelockert	trocken	23	0.02
		normal	23	0.2
		feucht	23	0.4
	verschlämmt	trocken	3	0.02
		normal	3	0.02
		feucht	3	0.1
	verdichtet	trocken	3	0.02
		normal	3	2.2
		feucht	3	10

 geschätzt
 gemessen

Tabelle 8: Änderung der Erosionswiderstände für konservierende Bodenbearbeitung (Grubber, Winterweizen, Ut4)

Entwicklungszustand	Bodenzustand	Erosionswiderstand alt [N/m ²]	Erosionswiderstand neu [N/m ²]
Saatbett	normal	0.0024	0.00136
	gелockert	0.0024	0.00345
	verschlämmt	0.0024	0.00037
	verdichtet	0.0024	0.00235
2-4 Blattstadium	normal	0.006	0.0018
	gелockert	0.006	0.00153
	verschlämmt	0.006	0.0011
	verdichtet	0.006	0.00235
Bestockung/Schossen	normal	0.007	0.005
	gелockert	0.007	0.005
	verschlämmt	0.007	0.004
	verdichtet	0.007	0.005

geschätzt
 gemessen

5.2.3 Direktsaatflächen

Basierend auf den vorliegenden Ergebnissen ist die Direktsaat die einzige geeignete Bodenbearbeitungsmethode, den Erosionswiderstand und den Skinfaktor sicher zu verbessern. Im Vergleich zu den grob geschätzten Werten der DPROC-Datenbank fallen die gemessenen Erosionswiderstände für die Untersuchungsflächen im Mittel geringer, die Oberflächenrauigkeiten höher aus. Daraus ergeben sich die in Tabelle 9 bis Tabelle 10 dargestellten Änderungen in der Datenbank für die verschiedenen Feldzustände.

Tabelle 9: Änderung der Skinfaktoren für Direktsaat (Winterweizen, Ut4)

Entwicklungszustand	Bodenzustand	Feuchtestufe	Skinfaktor alt [-]	Skinfaktor neu [-]
Saatbett	normal	trocken	6	2
		normal	6	10
		feucht	6	15
	gelockert	trocken	1	2
		normal	1	10
		feucht	1	15
	verschlämmt	trocken	15	1
		normal	15	5
		feucht	15	7
	verdichtet	trocken	5	2
		normal	5	10
		feucht	5	15
2-6 Blattstadium	normal	trocken	8	2
		normal	8	3
		feucht	8	10
	gelockert	trocken	8	2
		normal	8	3
		feucht	8	10
	verschlämmt	trocken	8	1
		normal	8	5
		feucht	8	7
	verdichtet	trocken	2	2
		normal	2	10
		feucht	2	15
Bestockung/Schossen	normal	trocken	8	2
		normal	8	3
		feucht	8	10
	gelockert	trocken	19	0.1
		normal	19	2
		feucht	19	5
	verschlämmt	trocken	2	1
		normal	2	5
		feucht	2	7
	verdichtet	trocken	2	2
		normal	2	10
		feucht	2	15

 geschätzt
 gemessen

Tabelle 10: Änderung der Erosionswiderstände für Direktsaat

Entwicklungszustand	Bodenzustand	Erosionswiderstand alt [N/m ²]	Erosionswiderstand neu [N/m ²]
Saatbett	normal	0.01	0.004
	gelockert	0.01	0.003
	verschlämmt	0.01	0.003
	verdichtet	0.01	0.005
2-6 Blattstadium	normal	0.011	0.004
	gelockert	0.011	0.003
	verschlämmt	0.011	0.003
	verdichtet	0.011	0.005
Bestockung/Schossen	normal	0.011	0.006
	gelockert	0.011	0.005
	verschlämmt	0.011	0.005
	verdichtet	0.011	0.006

geschätzt
 gemessen

5.2.4 Korrekturmaßnahmen

Kategorisierung

Korrektur des Skinfaktors

Für die alten und neu berechneten Skinfaktoren wurden lineare Anpassungen ermittelt, um für die unvollständigen Datensätze von SCHRAMM (1994) und ZIMMERLING (2004) neue Skinfaktoren abzuleiten. Die Ergebnisse sind in Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellt. Da die Abweichung alt und neu ermittelter Werte über die Gesamtschwankungsbreite streut, werden Werteklassen gebildet, für die jeweils separate Regressionen ermittelt werden (vgl. Abbildung A 1 – A 4).

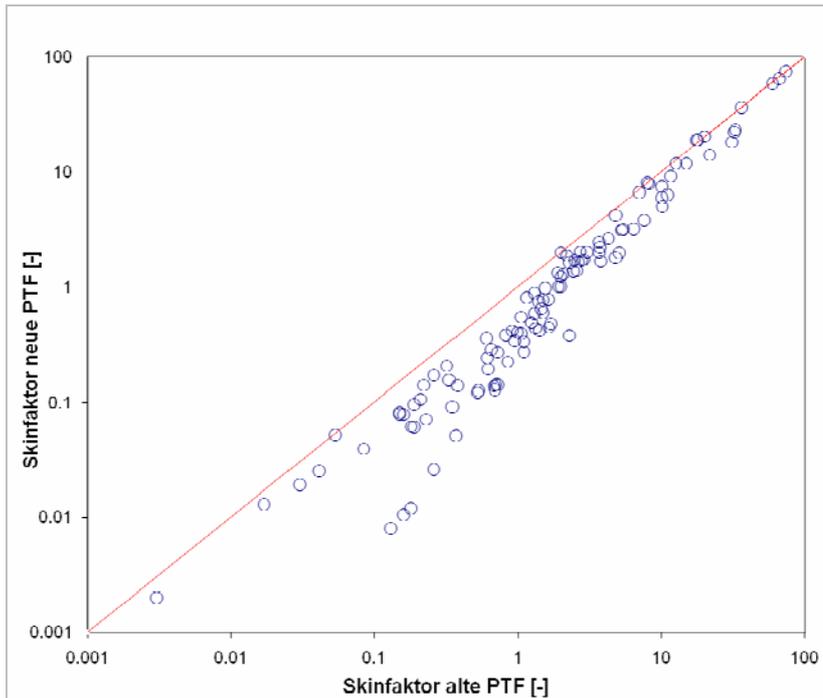


Abbildung 26: Zusammenhang zwischen Skinfaktoren, die auf ursprünglichen und korrigierten Infiltrationsalgorithmen basieren für die Gesamtstichprobe (n = 118) (PTF = Pedotransferfunktion)

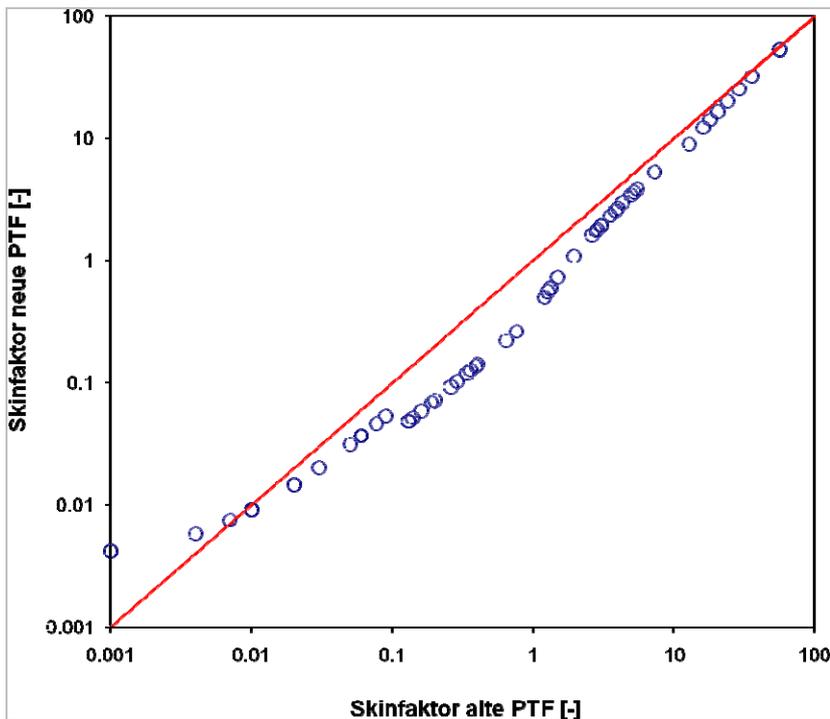


Abbildung 27: Empirisch korrigierte Skinfaktoren verschiedener Untersuchungen mit unvollständigen Eingangsdatensätzen (PTF = Pedotransferfunktion)

5.2.5 Schaffung neuer Nutzungs-ID's

Einige Nutzungs-codes der InVeKoS-Feldblöcke sind nicht in der DPROC-Datenbank enthalten. In Tabelle 11 werden diese dargestellt und in DPROC-Objekte übersetzt.

Tabelle 11: Übersetzung neuer InVeKoS-Nutzungen in DPROC-Objekte

HKCODE Text	HKCODE	DPROC Text	DPROC ID
Nicht-BP-beihilfefähige Hutungen	490	Wiese	21
Nicht-BP-beihilfefähige Heil-, Duft-, und Gewürzpflanzen	757	Garten	54
Schnellwüchsige Forstgehölze	848	Wald/Forst	12
Unbefestigte Mieten-, Stroh-, Futter- und Dunglagerplätze auf DGL	994	Wiese	21
Unbefestigte Mieten-, Stroh-, Futter- und Dunglagerplätze auf AL	996	Wiese	21

BP = Betriebsprämie; DGL = Dauergrünland; AL = Ackerland; HKCODE = Hauptkulturcode

5.3 Simulationsrechnungen

Über beispielhaft durchgeführte Simulationsrechnungen sollte gezeigt werden, inwieweit das weiterentwickelte Software-Paket in der Lage ist, schnell und zuverlässig sachsenweite Erosionskarten zu liefern. Dabei stehen zwei Fragen im Vordergrund:

1. Wie schnell und mit welchem Bearbeitungsaufwand können einzugsgebietsbezogene und/oder sachsenweite Simulationsszenarien parametrisiert und berechnet werden?
2. Wie plausibel sind die ermittelten Ergebnisse und welche Aussagen sind davon ableitbar?

5.3.1 Parametrisierungsschritte am Beispiel eines Teilgebietes (EZG Saidenbachtalsperre)

Unabhängig davon, ob Teilgebiete oder die gesamte Landesfläche berechnet werden sollen, müssen die verfügbaren Flächendaten auf die gewünschte Ausdehnung und Auflösung zugeschnitten werden. Am Beispiel der Talsperre Saidenbach werden die notwendigen Arbeitsschritte zur Erosionssimulation des Ist-Standes erläutert.

Bei der Parametrisierung von zusammenhängenden Einzugsgebieten bietet der DPROC eine Funktion zur automatischen Ableitung von Oberliegerezugsgebieten. Alle Einzugsgebiete sind nach einem bundeseinheitlichen Schlüssel klassifiziert (LAWA 1978). Dieser LAWA-Schlüssel ermöglicht die stromaufwärtige oder -abwärtige Ableitung von Einzugsgebieten. KOSCHITZKI (2004) beschreibt ausführlich die Charakteristika dieser Kodierung und stellt darüber hinaus die Vorgehensweise zur automatischen Ableitung von Gesamteinzugsgebieten vor. Im Vorhaben wurde dieses Vorgehen in den DRPOC übernommen (vgl. 4.1.2).

Definition der Projekteigenschaften

Im Menü „Datei/Eigenschaften“ können die Gebietskoordinaten manuell oder automatisch festgelegt werden. Zur Simulation von Teilgebieten muss dem Anwender das Einzugsgebiet bekannt sein. Eine Suchfunktion erleichtert das schnelle Auffinden des gewünschten Gebietes (z. B. Saidenbach 54268727). Mit dem Button „Oberlieger suchen“ können alle Einzugsgebiete ausgewählt werden, die in das aktivierte Gebiet entwässern (vgl. Abbildung 28).

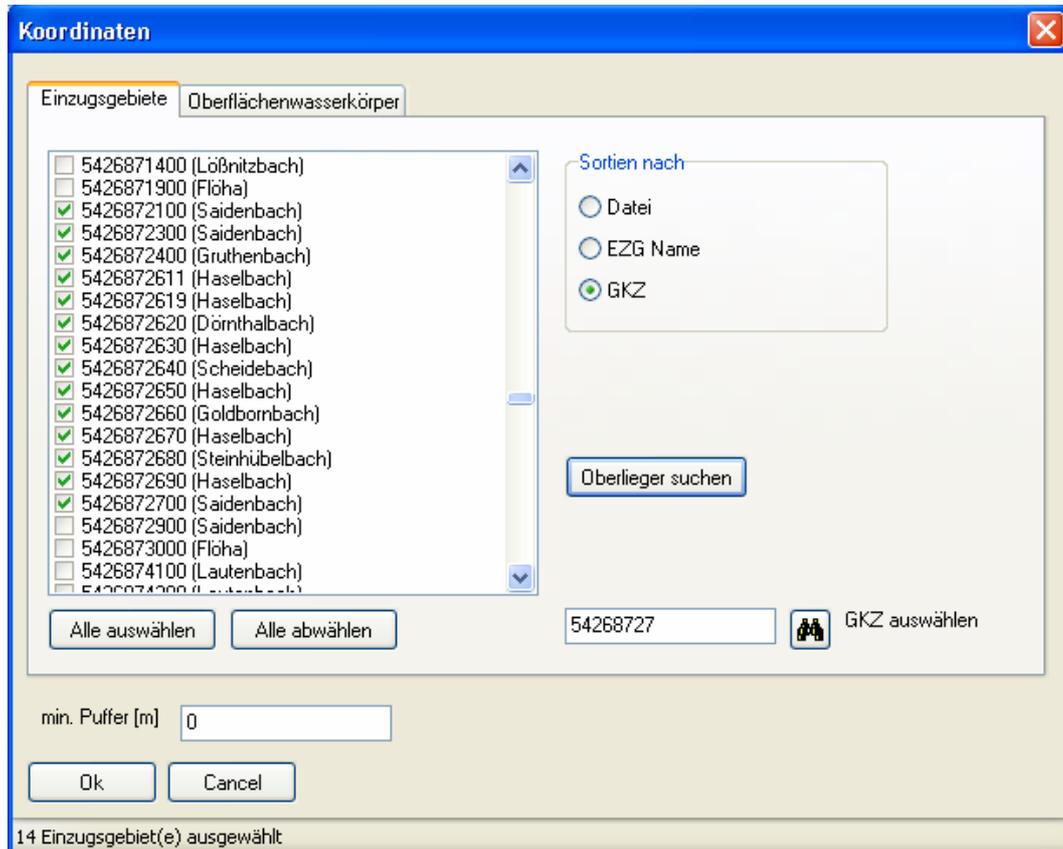


Abbildung 28: Menü zur Ableitung der Oberliegereinzugsgebiete im Programm DPROC

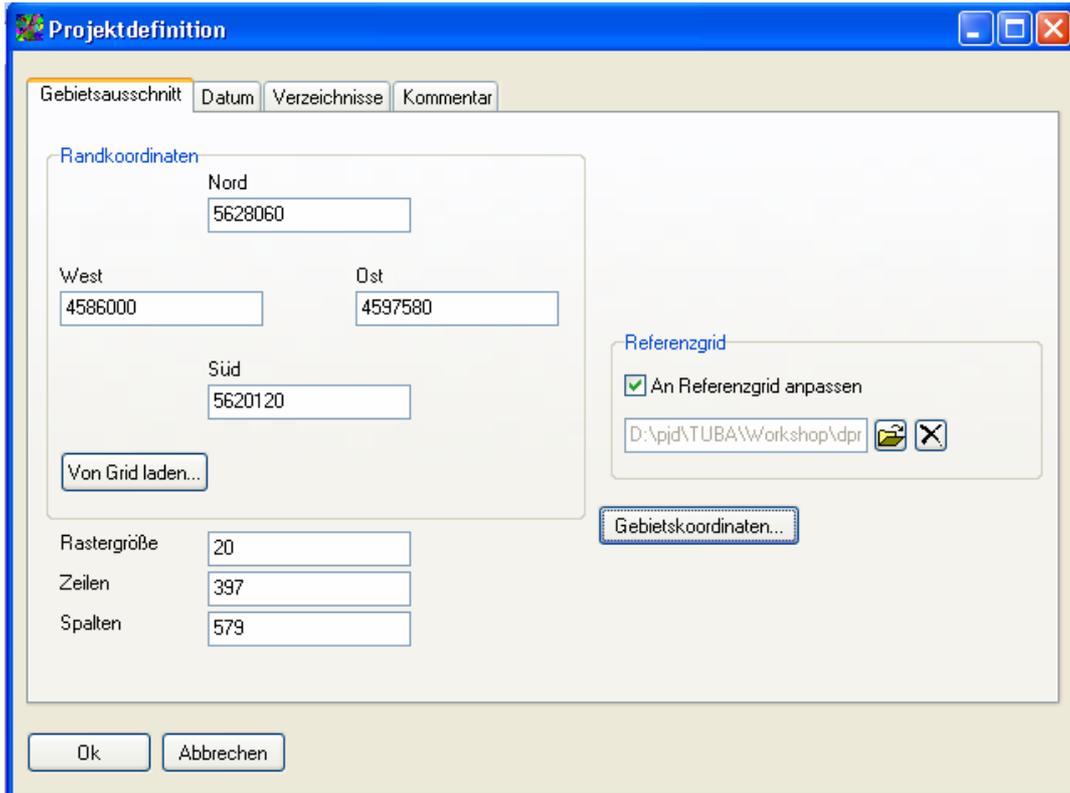


Abbildung 29: Menü zur Definition des Gebietsausschnittes

Wird die Auswahl bestätigt, gibt das Menü „Datei/Eigenschaften/Projektdefinition/Gebietsausschnitt“ Auskunft über die Lage des Gebietes. Die Randkoordinaten werden automatisch ermittelt und stehen fest. Um die räumliche Auflösung der Simulation zu definieren, muss die Rasterzellengröße vorgegeben werden. Zur Angleichung verschiedener Rasterdateien in Bezug auf die Ursprungskoordinaten kann die Funktion „An Referenzgrid anpassen“ verwendet werden (vgl. Abbildung 29). Dabei werden nicht die absoluten Ursprungskoordinaten verändert, sondern lediglich die Raster aneinander angepasst. Zum Ausgleich werden ggf. zusätzlich Zeilen- und Spaltenanzahl korrigiert (v. WERNER 2007).

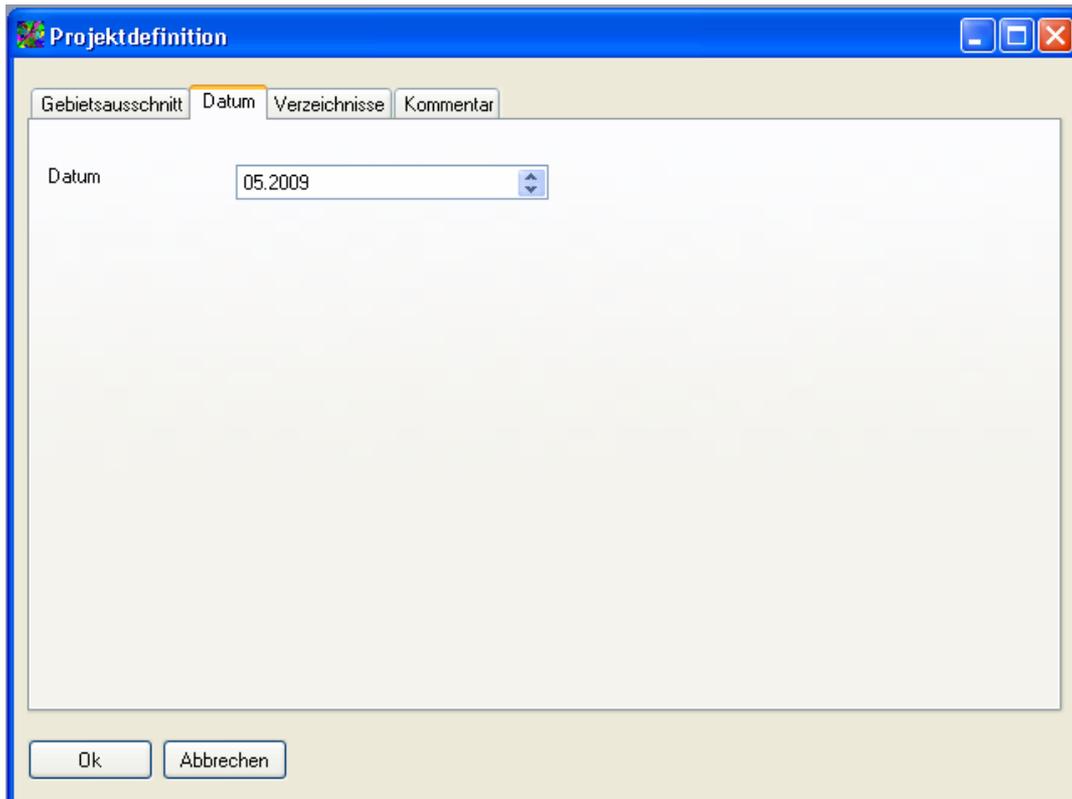


Abbildung 30: Menü zur Definition des Datums

Der Datenbankprozessor ist in der Lage, zeitlich dynamische Parameter (Bedeckungsgrad, Rauigkeit, Lagerungsdichte, Erosionswiderstand und Skinfaktor) kontinuierlich in Monatsschritten abzubilden. Dazu muss im Menü „Datei/Eigenschaften/Projektdefinition/Datum“ das Startdatum der Simulation definiert werden (vgl. Abbildung 30). Sind diese Angaben getroffen, kann mit dem Laden der Datensätze und deren Datenzuschnitt begonnen werden. Dazu wird das Menü „Relief/DGM“ ausgewählt.

Erstellung der Geo-Basisraster

Zur Erstellung der Geo-Basisraster aus den Geo-Basisdaten muss jeder vorgefertigte Raster- oder Vektor-Datensatz manuell eingelesen und das Ergebnisraster und dessen Speicherort definiert werden. Das DGM wird im Untermenü „Relief/DGM“ abgeleitet (vgl. Abbildung 31).

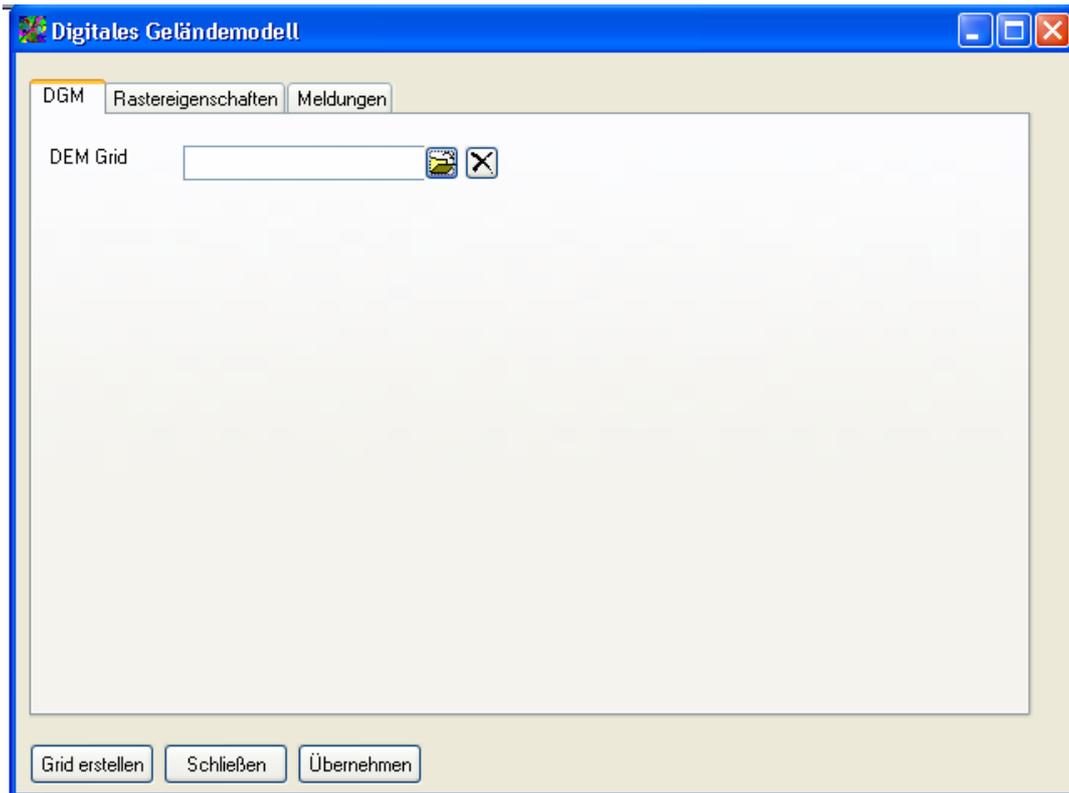


Abbildung 31: Menü zur Ableitung des DGM-Rasters

Bei Ableitung von Vektordaten (z. B. ATKIS-DLM, InVeKoS-Feldblöcke) muss zusätzlich das Feld der Attributtabelle angegeben werden, das die weiterzuverarbeitende Information enthält (z. B. Feld der Nutzungskodierung).

Im Untermenü „Landnutzung/ATKIS-DLM/Polygone“ kann die Rasterdatei für die ATKIS-DLM-Polygone erstellt werden (vgl. Abbildung 32).

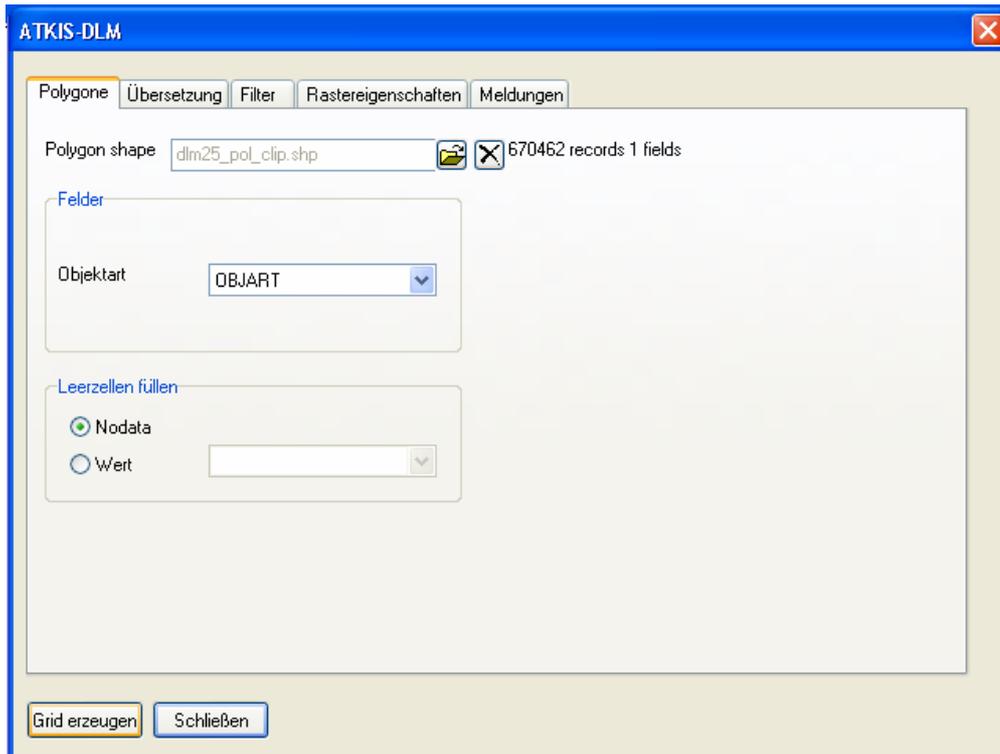


Abbildung 32: Menü zur Ableitung des ATKIS-DLM-Polygonrasters

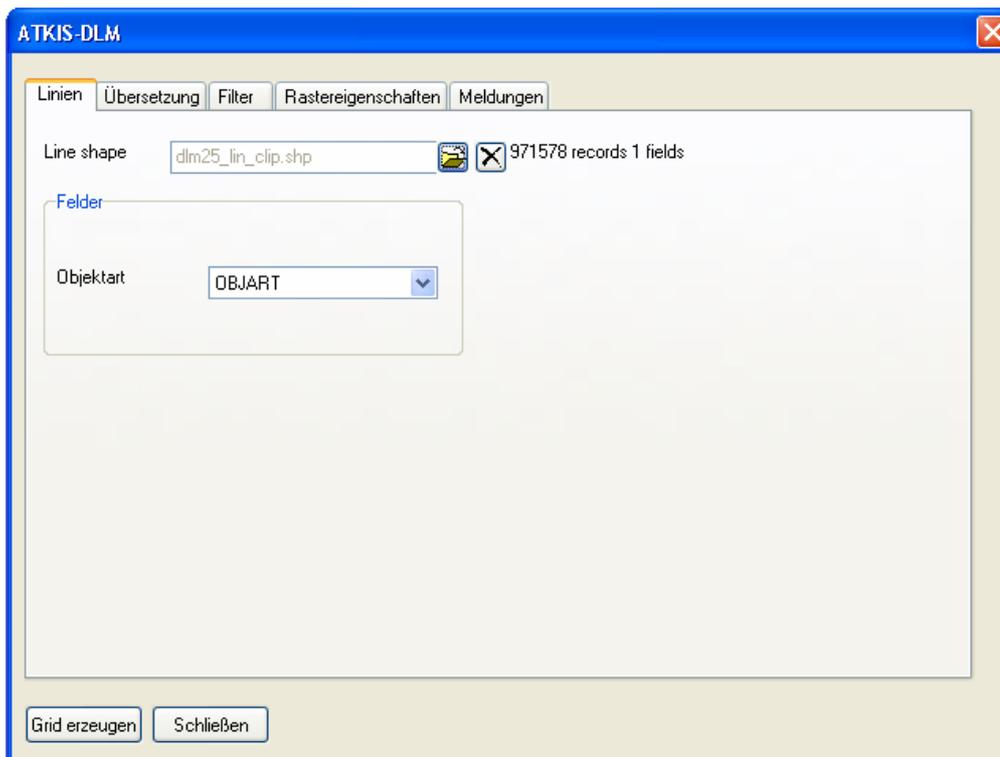


Abbildung 33: Menü zur Ableitung des ATKIS-DLM-Linienrasters

Die Ableitung der ATKIS-DLM-Linien erfolgt analog im Untermenü „Landnutzung/ATKIS-DLM/Linien“ (vgl. Abbildung 33). Da in der vorliegenden Studie mit 20 Meter Rasterweite gerechnet wird, empfiehlt es sich, schmale Linienobjekte, (z. B. Wege) aus dem Datensatz herauszufiltern, da deren Einfluss auf die Abflusskonzentration und den Bodenabtrag in der Simulation überproportional gegenüber ihrem tatsächlichen Einfluss liegt. Dazu können im Installationsordner des DPROC vorgefertigte oder selbst erstellte Filter ausgewählt werden (vgl. Abbildung 34). Die Liste der Objektarten-ID's des ATKIS-DLM und genaue Erläuterungen zur Filterfunktion des DPROC befinden sich im Benutzerhandbuch (v. WERNER 2007).

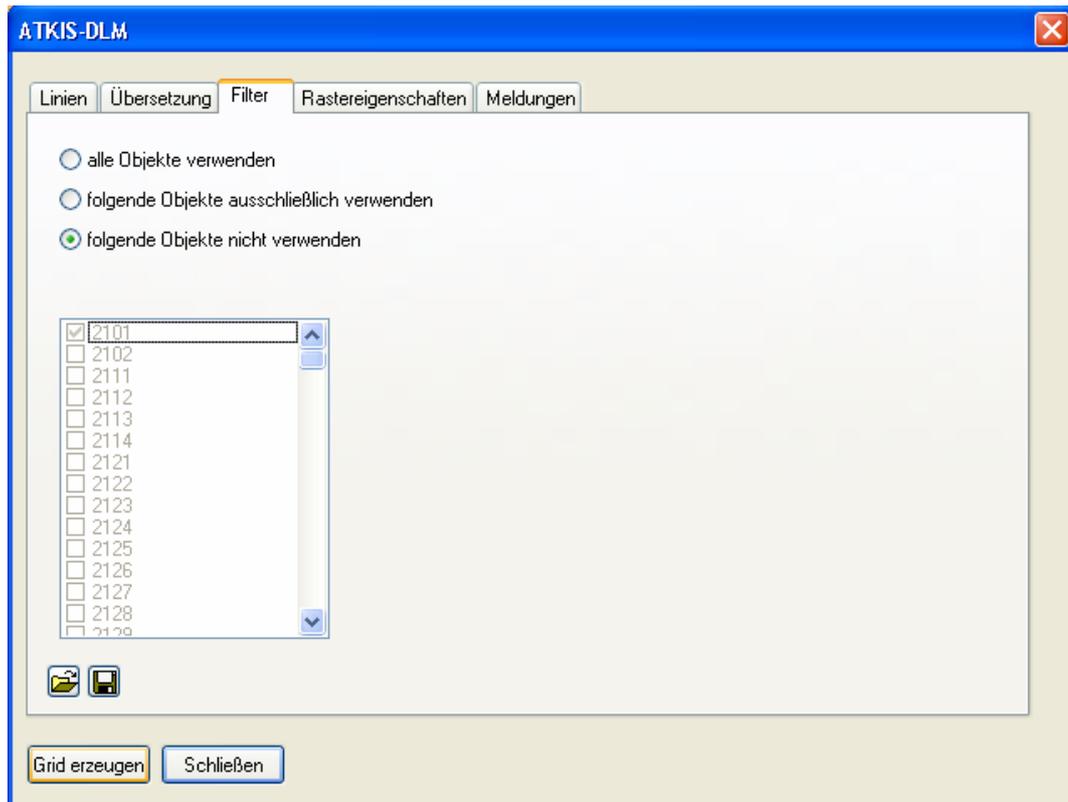


Abbildung 34: Menü zur Filterung von ATKIS-DLM-Objekten

Für globale Szenarien wie Worst-Case- oder Best-Case-Szenarien ist es sinnvoll, die Ackerflächen der ATKIS-DLM-Kulisse mit bestimmten virtuellen Eigenschaften zu belegen.

Dazu kann im Untermenü der ATKIS-DLM-Ableitung „Übersetzung“ jede ATKIS-Objektart durch eine bestimmte DPROC-Objektart ersetzt werden. Abbildung 35 zeigt dieses Vorgehen zur Berechnung eines Worst-Case-Szenarios, wobei für alle ATKIS-Ackerflächen ein Saatbettzustand angegeben wird.

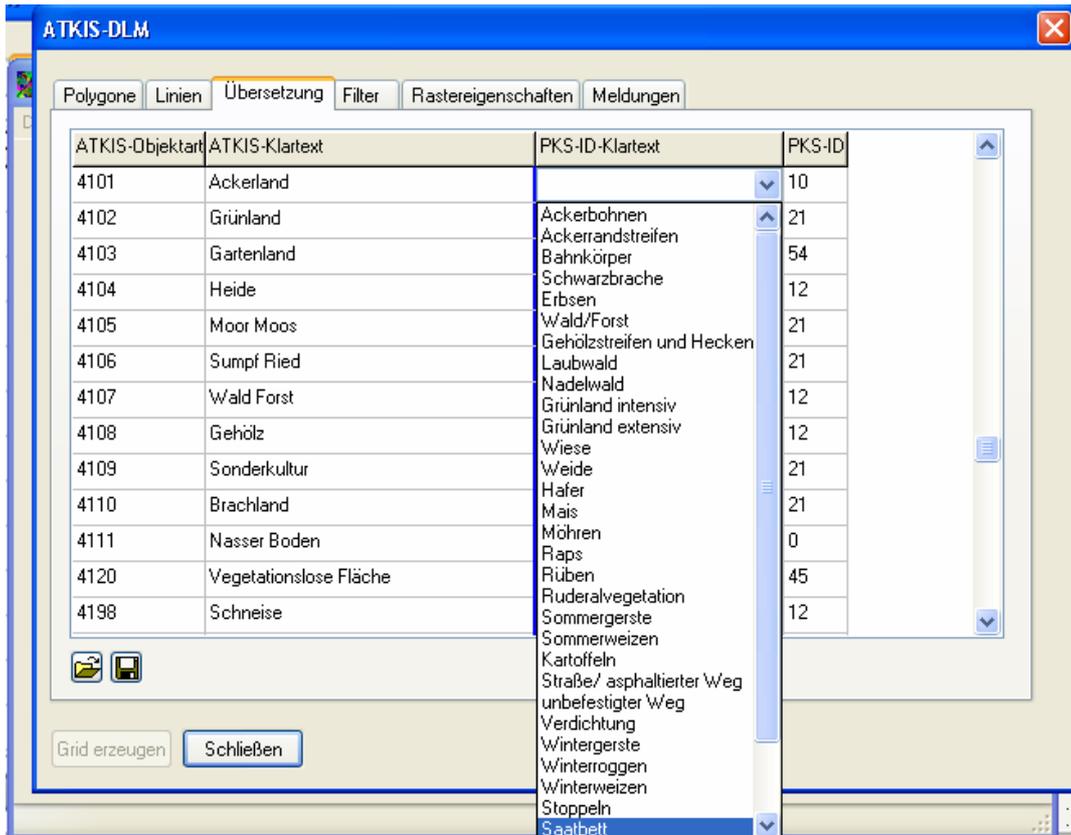


Abbildung 35: Menü zur Änderung der ATKIS-Übersetzung, Saatbettzustand für alle Ackerflächen

Sollen Realnutzungsszenarien berechnet werden, müssen detailreichere Nutzungsinformationen abgefragt werden.

Da InVeKoS-Feldblöcke mit mehreren Kulturen hinterlegt sein können, ist eine simple Ableitung nicht möglich, da die Attribute nicht eindeutig sind. Bei der Erstellung des InVeKoS-Rasters muss daher auf eine externe Tabelle mit den Angaben zur flächenmäßigen Verteilung (Sachdaten) der Kulturen im Feldblock abgefragt werden (vgl. Abbildung 36 und Abbildung 37).

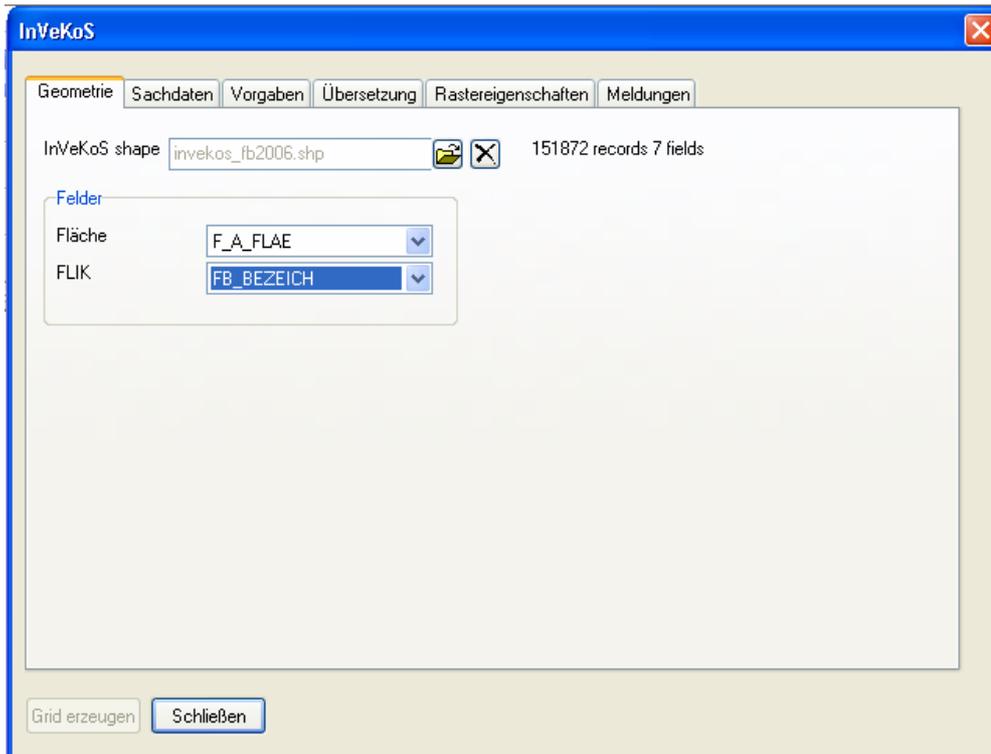


Abbildung 36: Menü zur Ableitung der InVeKoS-Geometrien

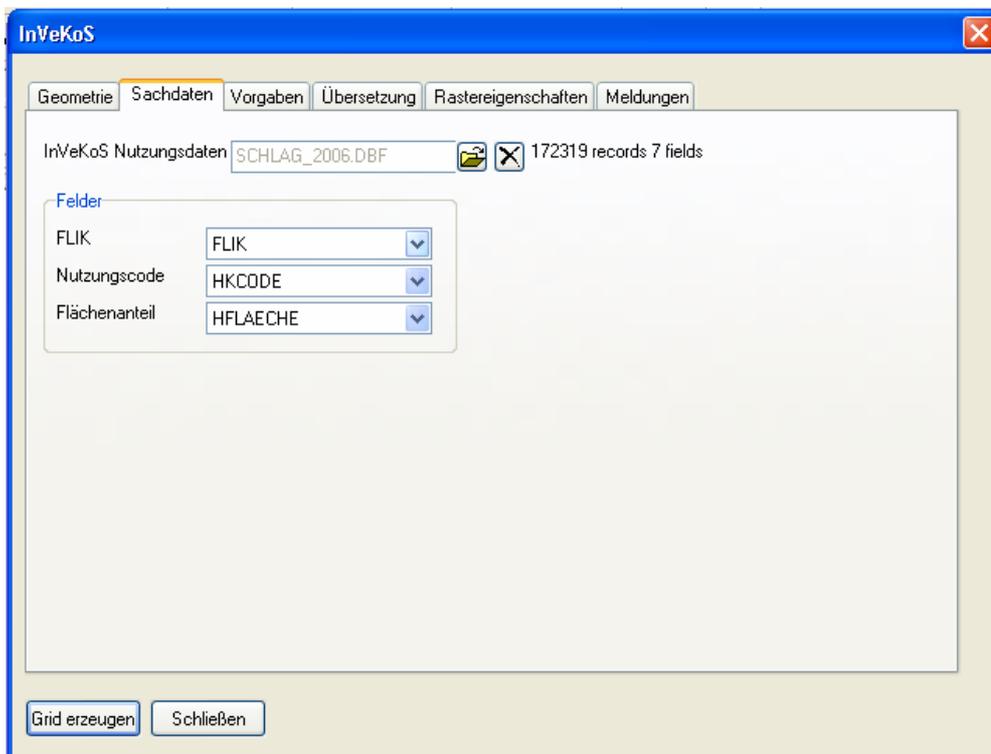


Abbildung 37: Menü zur Ableitung der InVeKoS-Sachdaten

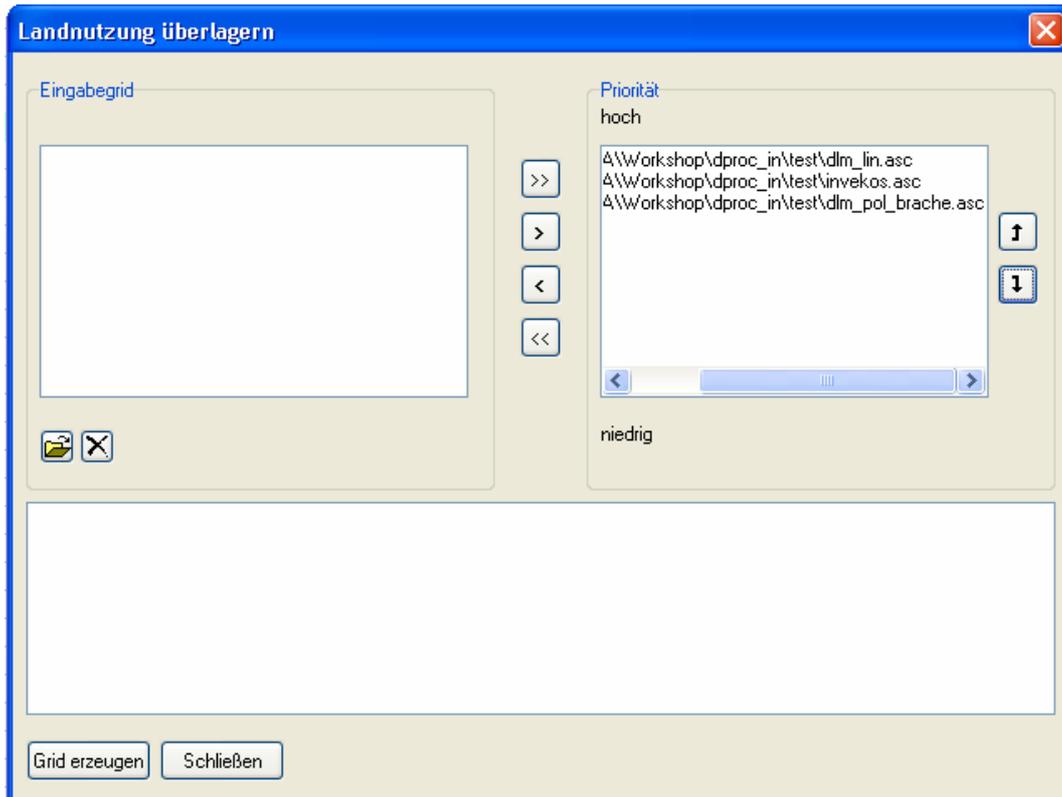


Abbildung 38: Menü zur Erstellung des Landnutzungsrasters bei hierarchischer Sortierung der Eingangsraster

Bei der Erstellung des Landnutzungsrasters müssen die abgeleiteten Raster im Menü „Landnutzung/Landnutzung überlagern“ hierarchisch sortiert werden (vgl. Abbildung 38). Dabei liegt der Datensatz höherer Priorität über dem niedrigerer Priorität.

Die Ableitung des Bodenrasters erfolgt analog zur Ableitung des Landnutzungsrasters im Menü „Boden/BÜK200“ (vgl. Abbildung 39).

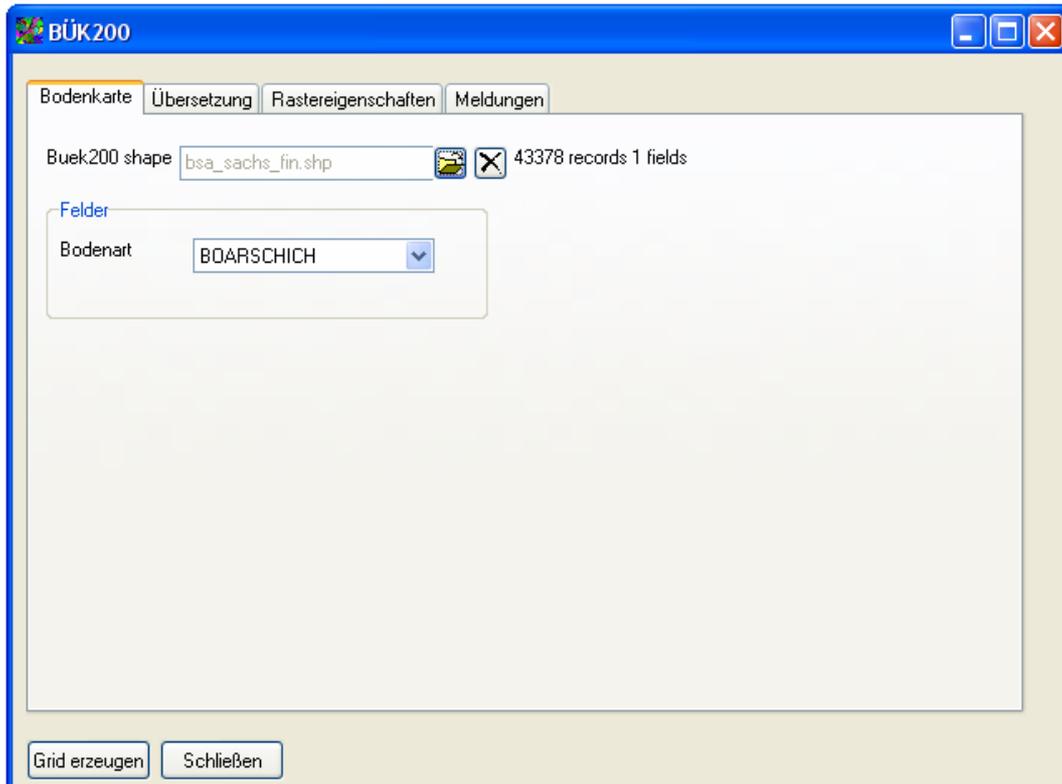


Abbildung 39: Menü zur Ableitung des Bodenatlas Sachsen-Rasters

Vor dem Starten der Datenbankabfrage müssen weitere Raster, z. B. Bodenbearbeitung, Mulchgehalt, Niederschlagszonen (letztere werden nicht zur Datenbankabfrage benötigt) aus vorhandenen Rasterdaten erstellt werden. Dazu bietet der DPROC im Menü „Optionen/GIS/Clip Grid“ die entsprechende Anwendung. Es muss an dieser Stelle lediglich das entsprechende Eingangsraster und das entsprechende Zahlenformat ausgewählt werden. Bei den erwähnten Rastern handelt es sich dabei ausschließlich um Ganzzahlen (vgl. Abbildung 40).

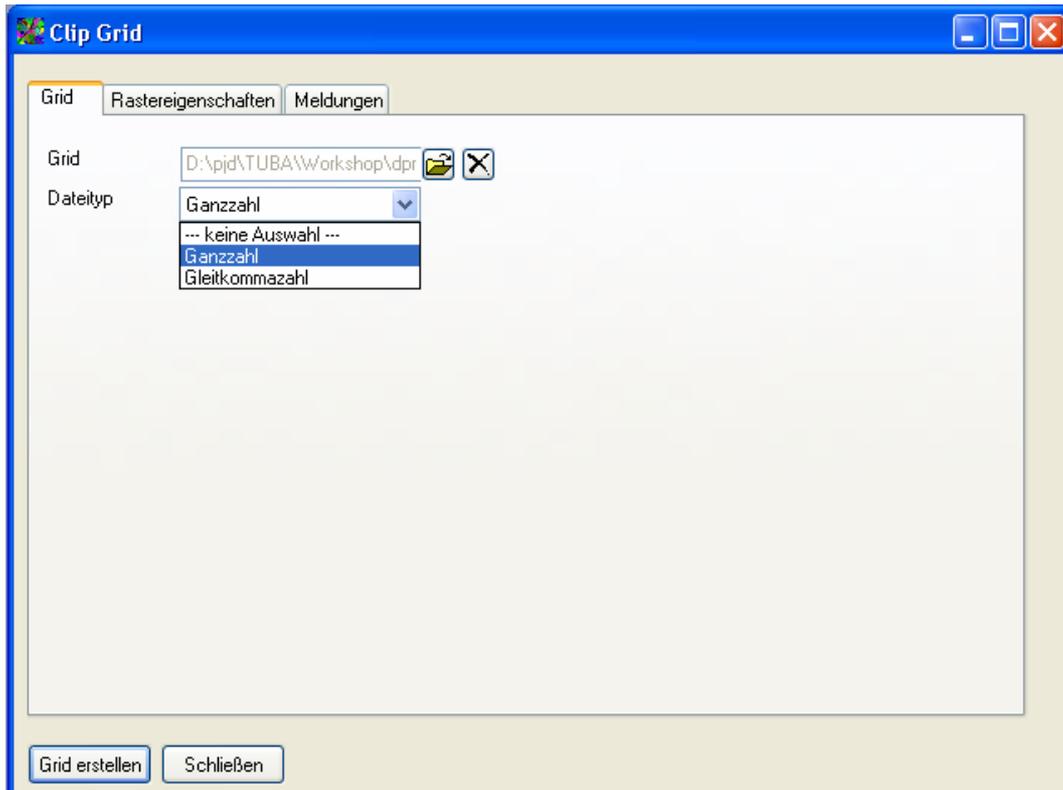


Abbildung 40: Menü zur Erstellung anderer Raster

Nutzung vorgefertigter Geo-Basisraster

Um die Effizienz des Tools weiter zu steigern, können neben den selbst erstellten Geo-Basisrastern auch vorgefertigte Raster im Menü „Datei/Eigenschaften/Standardparameter“ genutzt werden (vgl. Abbildung 41). Das verringert den Gesamtarbeitsaufwand, um zeitaufwendige Vektor-Raster-Konvertierungen (z. B. ATKIS-DLM, InVeKoS-Feldblöcke und BSA) oder andere GIS-Operationen (z. B. Clip-Grid) durchzuführen. Im Vorhaben wurden dabei folgende Raster vorbereitet:

- Landnutzung Worst-Case (In_worst.asc)
- Landnutzung Ist-Stand (In_ist.asc)
- Bodenart (boart.asc)
- Mulchgehalt (2006_cov_50)
- Bodenbearbeitung (2006_mg_50)
- Niederschlagszonen (rain)
- Digitales Geländemodell (dgm)

Eine detaillierte Beschreibung der Dateien befindet sich im Anhang (vgl. Tabelle A 5).

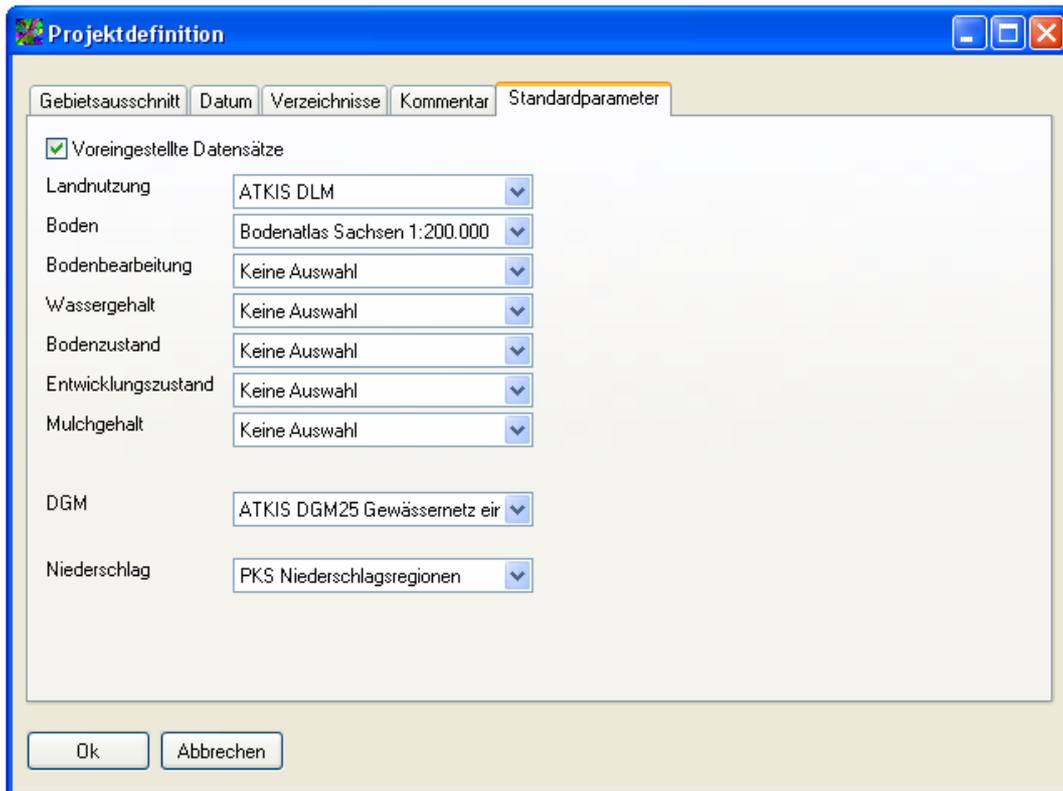


Abbildung 41: Menü zur Erstellung anderer Raster

Datenbankabfrage

Um aus den Basisrastern (Landnutzungs- und Bodenrastern) EROSION 3D-Eingangsparameterdateien zu erstellen, wird eine entsprechende Datenbankabfrage durchgeführt. Grundlage ist die auf dem Parameterkatalog Sachsen basierende und weiterentwickelte relationale Datenbank. Dazu müssen im Menü „db-Abfrage/Ausgabe“ Basisraster eingelesen bzw. entsprechende Angaben gemacht werden (vgl. Abbildung 42 und Abbildung 43).

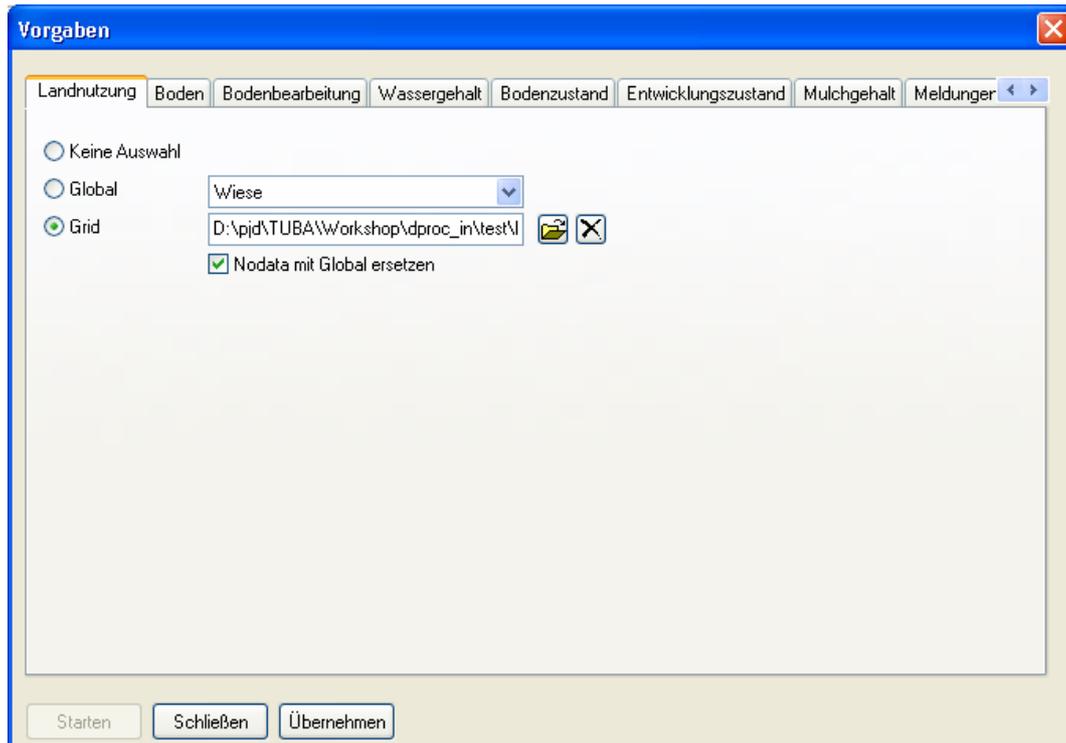


Abbildung 42: Menü zur Definition der Landnutzungsparameter

In jedem der Untermenüs wird bei Vorhandensein eines entsprechenden Basisrasters dieses ausgewählt. Liegt abhängig vom Szenario kein Basisraster vor (Bodenbearbeitung, Wassergehalt, Bodenzustand, Entwicklungszustand, Mulchgehalt), werden globale Angaben getroffen. Werden Raster eingelesen, müssen für eventuell nicht mit Daten hinterlegte Raster Attribute global vergeben werden. Beim Starten der Abfrage werden die EROSION 3D lesbaren Parameterdatensätze erstellt.

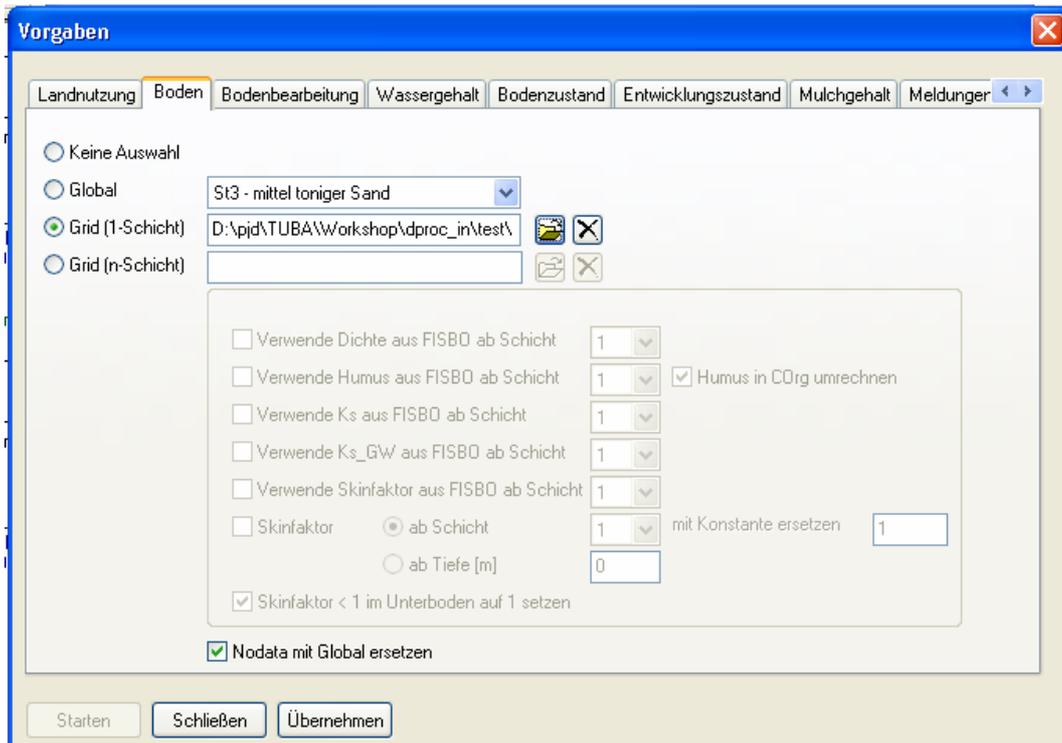


Abbildung 43: Menü zur Definition der Bodenparameter

Folgende Angaben werden für das Realnutzungsszenario für die Talsperre Saidenbach getroffen:

Landnutzung: Raster, nodata „Wiese“
 Boden: Raster, nodata „St3“
 Bodenbearbeitung: Raster, nodata „Pflug“
 Wassergehalt: „mittel“
 Bodenzustand: „normal“
 Entwicklungszustand: „normal“
 Mulchgehalt: Raster (30%), nodata „0“.

Simulation

Liegen alle Eingangsdaten vor, kann mit der eigentlichen Simulation im Modell EROSION 3D begonnen werden. Dazu werden aus dem DGM-Raster über eine digitale Reliefanalyse verschiedene Raster (DGM ohne abflusslose Senken, Hangneigung, Exposition, Fließrichtung, Fließakkumulation u. a.) abgeleitet (vgl. Abbildung 44).

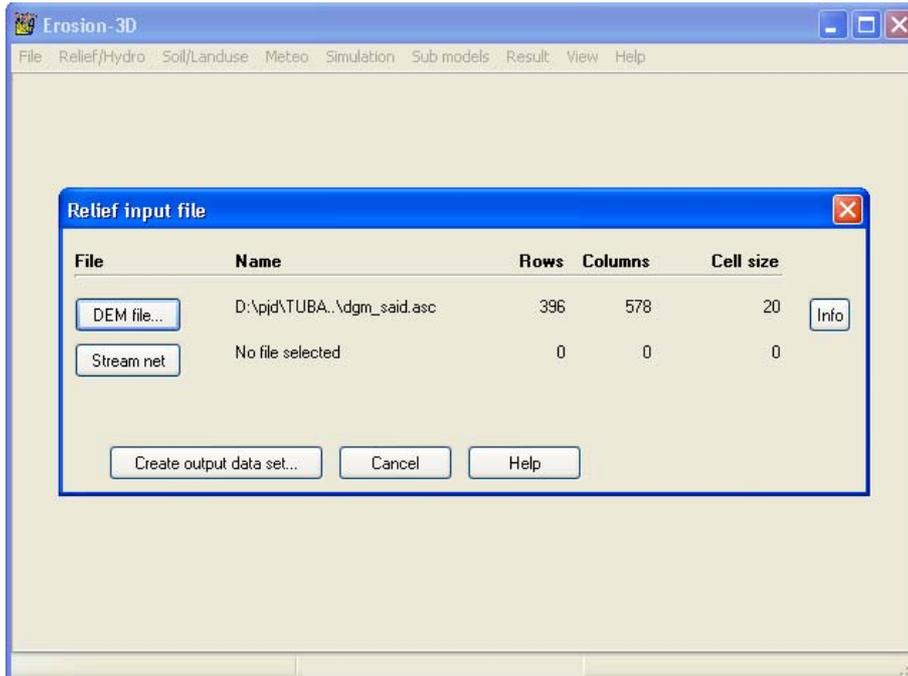


Abbildung 44: Menü zur Erstellung des E3D-Reliefdatensatzes

Daran anschließend werden im Menü „Soil/Landuse“ die Eingangsdaten der DPROC-Datenbank-ableitung geladen bzw. selektiert (vgl. Abbildung 45).

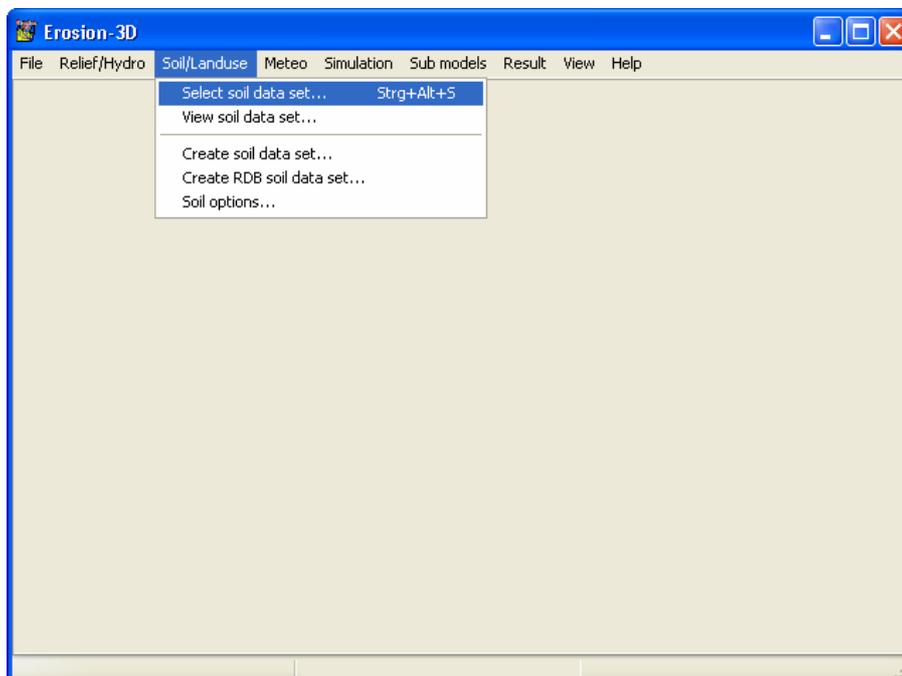


Abbildung 45: Menü zum Laden des Boden-/Landnutzungsdatensatzes

In einem letzten Schritt muss die Tabelle mit den Niederschlagsinformationen und das Niederschlagszonenraster vorgegeben werden (vgl. Abbildung 46).

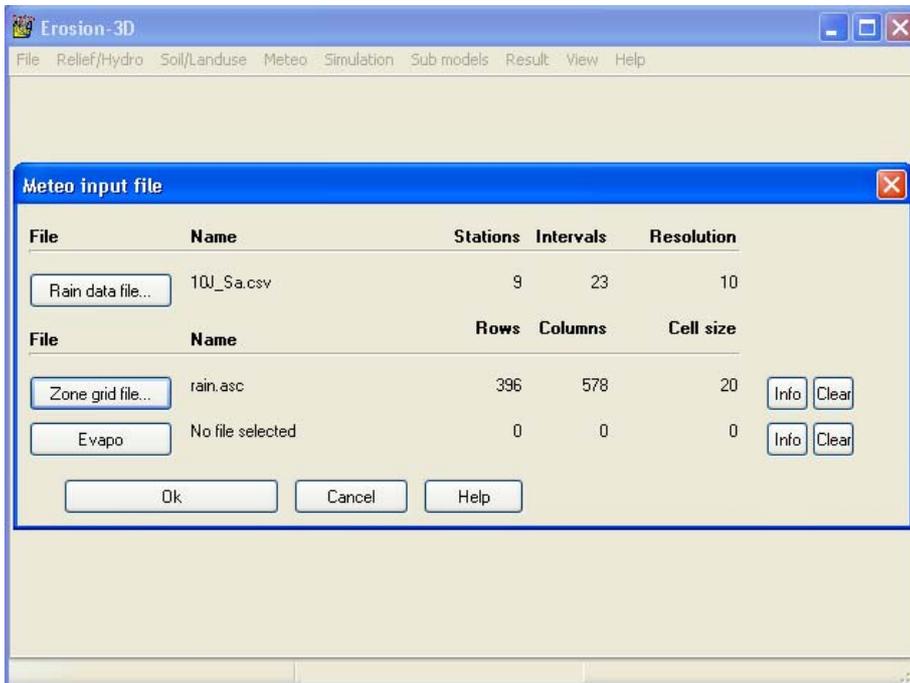


Abbildung 46: Menü zum Laden der Niederschlagsinformation

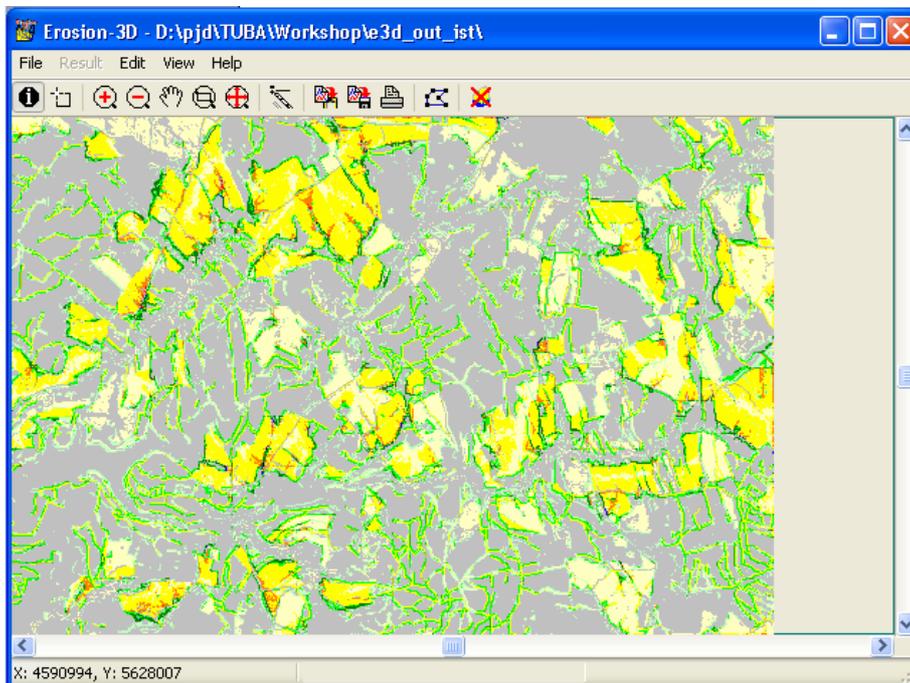


Abbildung 47: Ergebnisdarstellung der Erosionsmodellierung (Ist-Stand-Szenario)

Die Simulation wird im Menü „Simulation/Run“ gestartet. Läuft die Simulation fehlerfrei, kann das Ergebnis im Menü „Result/View result data set“ betrachtet werden (vgl. Abbildung 47). Die einzelnen Ergebnisdateien können als ASCII-Raster in GIS-Programme importiert und dort analysiert werden.

5.3.2 Parametrisierungsschritte zur flächendeckenden Modellanwendung für Sachsen

Die Parametrisierung der gesamten Landesfläche erfolgt analog zu der von kleineren Systemeinheiten. Allerdings müssen im Voraus zusammenhängende Teilgebiete definiert werden, die einzeln berechnet werden können. Der im Vorhaben verfügbare Computer mit 4 GB Arbeitsspeicher kann ca. 12 - 14 Mio. Zellen verarbeiten. Aus diesem Grund muss Sachsen in einer räumlichen Auflösung von 20 m Rasterweite in 12 Untereinheiten geteilt werden. Diese Einheiten werden, wie in Kapitel 5.3.1 bereits erläutert, mit Relief-, Boden-, Landnutzungs-, Bearbeitungs- und Niederschlagsdaten hinterlegt. Mit der verfügbaren Rechenkapazität und den vorgefertigten Landnutzungs- und Bodeninformationen kann so die gesamte Landesfläche in zwei Arbeitstagen parametrisiert und in drei Arbeitstagen berechnet werden.

Worst-Case-Szenario

Das Worst-Case-Szenario stellt die potenzielle Erosionsgefährdung auf Sachsenebene dar und dient der Identifizierung von erosionsgefährdeten Flächen sowie von besonders durch Sedimenteinträge betroffenen Gewässerabschnitten. Um landnutzungs- und bearbeitungsbedingte Einflüsse auf den Bodenabtrag auszuschließen, werden globale Nutzungs- und Bearbeitungsverhältnisse für die Ackerflächen des ATKIS-DLM angenommen. Um die bodenart- und reliefbedingten Einflüsse auf das Abtragsverhalten herauszustellen, wird global ein Saatbettzustand mit hoher Vorbodenfeuchte (Feldkapazität) angenommen¹.

Ist-Stand-Szenario

Das Ist-Stand Szenario dient der Erfassung des Abtrags- und Depositionsgeschehens unter realen Bedingungen für das Anbaujahr 2006. In erster Linie gilt es nachzuweisen, dass eine schnelle und effiziente Simulation von Realnutzungsszenarien mit dem verbesserten Software-Paket möglich ist. Darüber hinaus dient dieses Szenario der Validierung der korrigierten Geo-Datenbasis. Als Landnutzungskulisse stehen die dominanten Kulturarten der InVeKoS-Feldblöcke und die Informationen des ATKIS-DLM zur Verfügung. Die Raster „Bodenbearbeitung“ und „Mulchgehalt“ (30 %) werden aus den Informationen der Datei Zusatzförderung II (vgl. 3.1.1) erzeugt. Analog zum Dominanzprinzip zur Ableitung der Kulturart wird dieses auch bei Ableitung dieser Raster verwendet¹.

¹ Simulationsmonat: Mai, Niederschlagsereignis: 10-jährig

5.3.3 Identifizierung der Gefährdungsflächen

Mit dem verbesserten DPROC Software-Paket soll es dem Anwender ermöglicht werden, schnell und zuverlässig Informationen zur Stoffdynamik ableiten zu können. Dazu werden die Ergebnisse der Worst-Case-Simulation mit dem Werkzeug „Zonal-Statistik“ im Softwarepaket ArcGIS 9.2 analysiert (auch mit der Software EROSION 3D möglich). Dazu werden die InVeKoS-Feldblöcke und Einzugsgebiete hinsichtlich ihres mittleren Sedimentbudgets abgefragt. Anschließend können mit Hilfe der in Tabelle 12 dargestellten Klassifizierung die Erosions- und Depositionsgefährdung aller Feldblöcke und Einzugsgebiete ermittelt werden. Da Erosionsschäden vorrangig auf Ackerlandfeldblöcken zu erwarten sind, werden Quantile zur Identifizierung der Erosionsgefährdung für das Gesamtgebiet für die Ackerlandfeldböcke separat ermittelt. Im Gegensatz dazu werden diese zur Bestimmung der Depositionsgefährdung für alle Landnutzungen gleich ermittelt.

Tabelle 12: Klassifizierung der Erosions- und Depositionsgefährdung der Feldblöcke

Quantil	Erosions-/Depositionsgefährdung
90 %	extrem gefährdet
75 %	stark gefährdet
25 %	mittel gefährdet
25 - 0.1 %	gering gefährdet
0.1 – 0 %	nicht gefährdet

5.3.4 Identifizierung gefährdeter Gewässerabschnitte

Besonders im Hinblick auf die Einhaltung der Ziele der EU-WRRL war es sinnvoll, die Übertrittspunkte von Sediment in Oberflächengewässer zu identifizieren. Dazu mussten zwei Informationsebenen (Gewässer und Sedimentmengen) miteinander verschnitten werden. Ein Gewässerraster bildete die Grundlage der Verortung von Sedimentübertrittspunkten und wurde aus den offiziellen Fließgewässern und den ATKIS-DLM-Gewässern abgeleitet. Anschließend wurden die Sedimentmengen (ch_sedvol.asc) mit dieser Datei unter Verwendung der Funktion „Math“ multipliziert. Ergebnis ist eine Rasterkarte mit farblich klassifizierter Gewässerabschnittsgefährdung. Mit dem Werkzeug „Zonal-Statistik“ im Softwarepaket ArcGIS 9.2 konnte jeweils die Summe und der Ertrag an eingetragenem Bodenmaterial in separaten Rasterkarten dargestellt werden.

5.4 Szenarienrechnung

5.4.1 Worst-Case-Szenario

Die Ergebnisse des Worst-Case-Szenarios bilden die Boden-, Relief- und Landnutzungsverhältnisse im Freistaat Sachsen ab. Die Erosionsgefährdung nimmt zunächst von Nord nach Süd zu und erreicht in den Lösshügelländern ihren Höhepunkt, um in südlicher Richtung wieder abzusinken (vgl. Abbildung 48). Dieser Sachverhalt und der Vergleich mit Simulationsrechnungen anderer Autoren (SCHOB 2006, SEIDEL 2008) bestätigt die Plausibilität der Ergebnisse. Darüber hinaus orientieren sich die Ergebnisse räumlich überwiegend an der bodenart- und landnutzungsabhängigen Parameterverteilung und nicht an den Grenzen der Niederschlagsregionen. Dieser Sachverhalt ist

besonders für den Vergleich von Gebieten, in denen sich mehrere Niederschlagsregionen befinden, von Bedeutung, da die Übergänge in der Realität fließend sind.

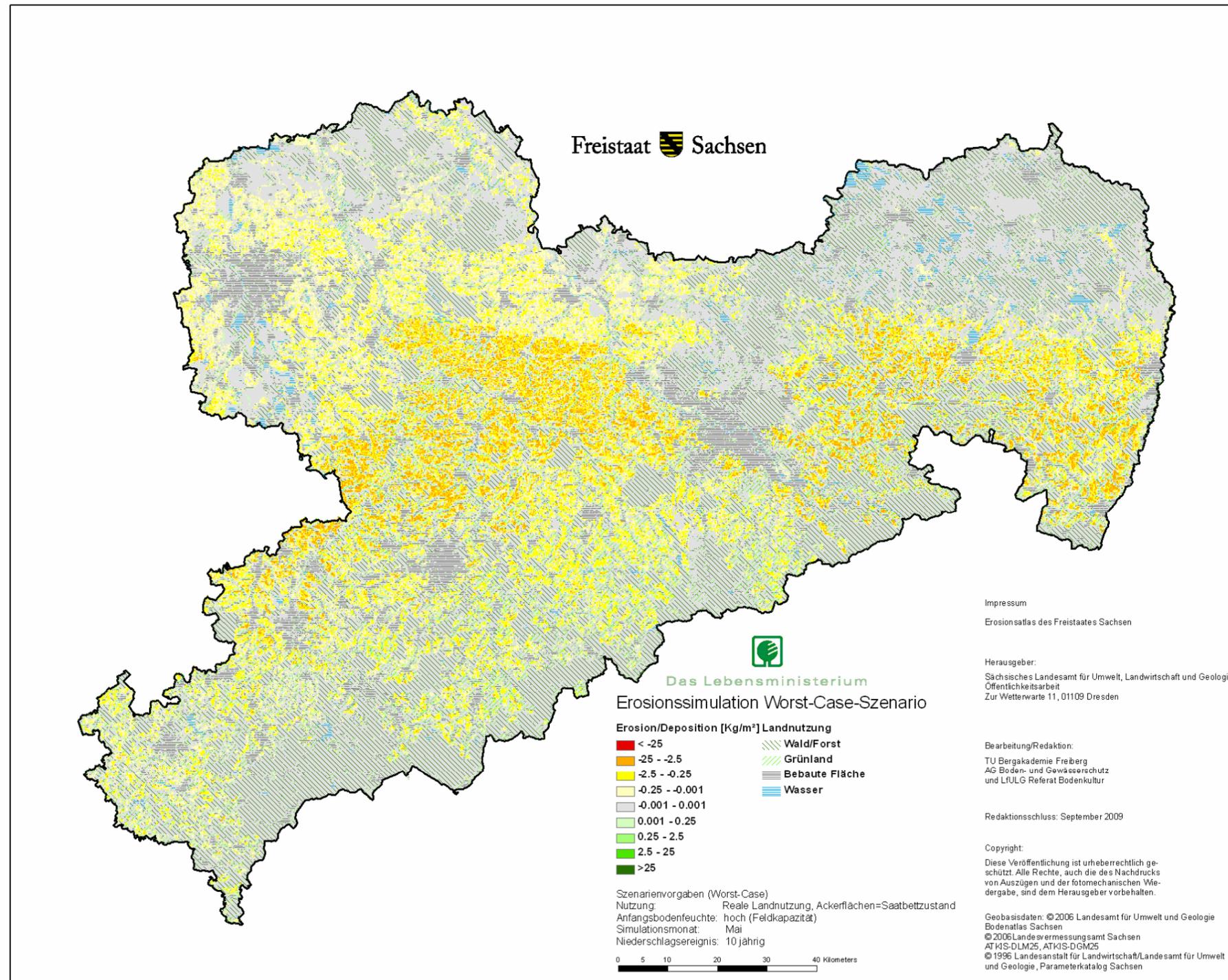


Abbildung 48: Erosion und Deposition für das Worst-Case-Szenario auf Landesebene

Über die Hälfte der Landesfläche (53 %) ist direkt oder indirekt durch Bodenerosion gefährdet. Davon entfallen 35 % auf On-Site-Schäden durch Erosion und 18 % auf Off-Site-Schäden durch Deposition (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Statistische Auswertung des Worst-Case-Szenarios auf Landesebene Sachsen

	Deposition	Erosion	Sedimentbudget
Mittelwert			
[kg/m ²]	2.98	-6.78	-1.87
[t/ha]	29.8	-60.8	-18.7
Standardabweichung	18.46	34.44	22.26
Flächengröße [km ²]	3302.4	6542.7	18472.93
Anteil [%]	17.8	35.4	-

10-jähriges Niederschlagsereignis im Monat Mai

Potenziell gefährdete Flächen

Im Folgenden werden die Bodenregionen (Einteilung Stand 2006) hinsichtlich ihrer Erosionsgefährdung beschrieben (vgl. Abbildung 49). Dabei steht im Fokus der Betrachtung vor allem der Anteil von Erosion und Deposition an der Gesamtfläche. Maßgebend dafür ist natürlich auch der jeweilige Flächenanteil der Ackerflächen, wobei ein geringer Ackeranteil trotz stark gefährdeter Flächen unter Bezug auf die gesamte Bodenregion zu einer vergleichsweise guten Einstufung führen kann. Eine gesonderte Beschreibung der Erosionsgefährdung für Ackerflächen folgt im Anschluss.

Bodenregionen

Gebiete **geringer Erosionsgefährdung** sind die Heide- und Seengebiete im gesamten Norden des Landes, da es Gebiete geringer Reliefenergie und aufgrund sandiger Substrate hoher Wasserdurchlässigkeit sind. Darüber hinaus ist vor allem der Nordosten des Landes durch einen geringen Ackerflächenanteil gekennzeichnet. Die oberen Lagen des Erzgebirges, der Brambacher Zipfel und das Zittauer Gebirge sind wegen des geringen Ackerflächenanteils ebenfalls wenig gefährdet. Vereinzelt Ackerflächen können aber aufgrund starker Hangneigungen beträchtliche Erosionsbeträge aufweisen (vgl. Tabelle 14).

Die Gebiete **mittlerer Gefährdung** sind die Lössstiefländer südlich der Heide- und Seengebiete, das Thüringer Schiefergebirge, das Elstergebirge, das Vogtländische Kuppenland, die Unteren und mittleren Lagen des Erzgebirges, sowie das Torgau-Riesaer-Elbtal. Die Dresdener Elbtalweitung kann nur deshalb als mittel gefährdet eingestuft werden, da sich Ackerflächen auf kleine Randbereiche der Stadt Dresden beschränken. Diese selbst sind jedoch hoch gefährdet (vgl. Tabelle 14).

Bodenregionen **hoher Gefährdung** sind das Vorerzgebirgische Becken, das Westlausitzer, das Weißensefelder Lösshügelland, das Oberlausitzer Bergland und das Elbsandsteingebirge. Trotz der

zum Teil hohen Gefährdung der Ackerflächen in diesen Regionen begrenzt der relativ geringe Ackerflächenanteil eine höhere Gefährdungsstufe.

Treffen hohe Hangneigungen, stark erodierbare Bodenarten und eine hohe Ackerflächendichte aufeinander, kann von einer **sehr hohen Erosionsgefährdung** ausgegangen werden. Das trifft vor allem für das Mulde-, das Mittelsächsische, das Zeitz-Altenburger, das Oberlausitzer und das Bautzener Lösshügelland zu. Dabei ist vor allem der nördliche Teil des Mittelsächsischen Lösshügellandes aufgrund seiner hohen Ackerlanddichte die gefährdetste Region in Sachsen. Dort liegt auch die größte Dichte an Rasterzellen mit Extremwerten über 250 t/ha Bodenabtrag (10-jähriges Niederschlagsereignis im Monat Mai [Saatbettzustand])

Feldblöcke

Die durch Erosion gefährdeten Feldblöcke sind in erster Linie Ackerlandfeldblöcke. Diese konzentrieren sich vor allem auf die Lösshügelländer (vgl. Abbildung 50). Die Bodenregionen mit dem größten Vorkommen der Feldblöcke in der höchsten Gefährdungsstufe sind das Mittelsächsische, das Mulde-, Westlausitzer, Bautzener-Oberlausitzer Lösshügelland sowie das Oberlausitzer Bergland, das Elbsandsteingebirge, die Dresdner Elbtalweitung und das Vorerzgebirgische Becken.

Durch Deposition gefährdete Flächen sind vor allem Grünlandfeldblöcke, Teiche, Gewässerrandstreifen und forstwirtschaftlich genutzte Feldblöcke. Diese befinden sich vor allem in den Tiefenlinien unterhalb von Ackerlandfeldblöcken.

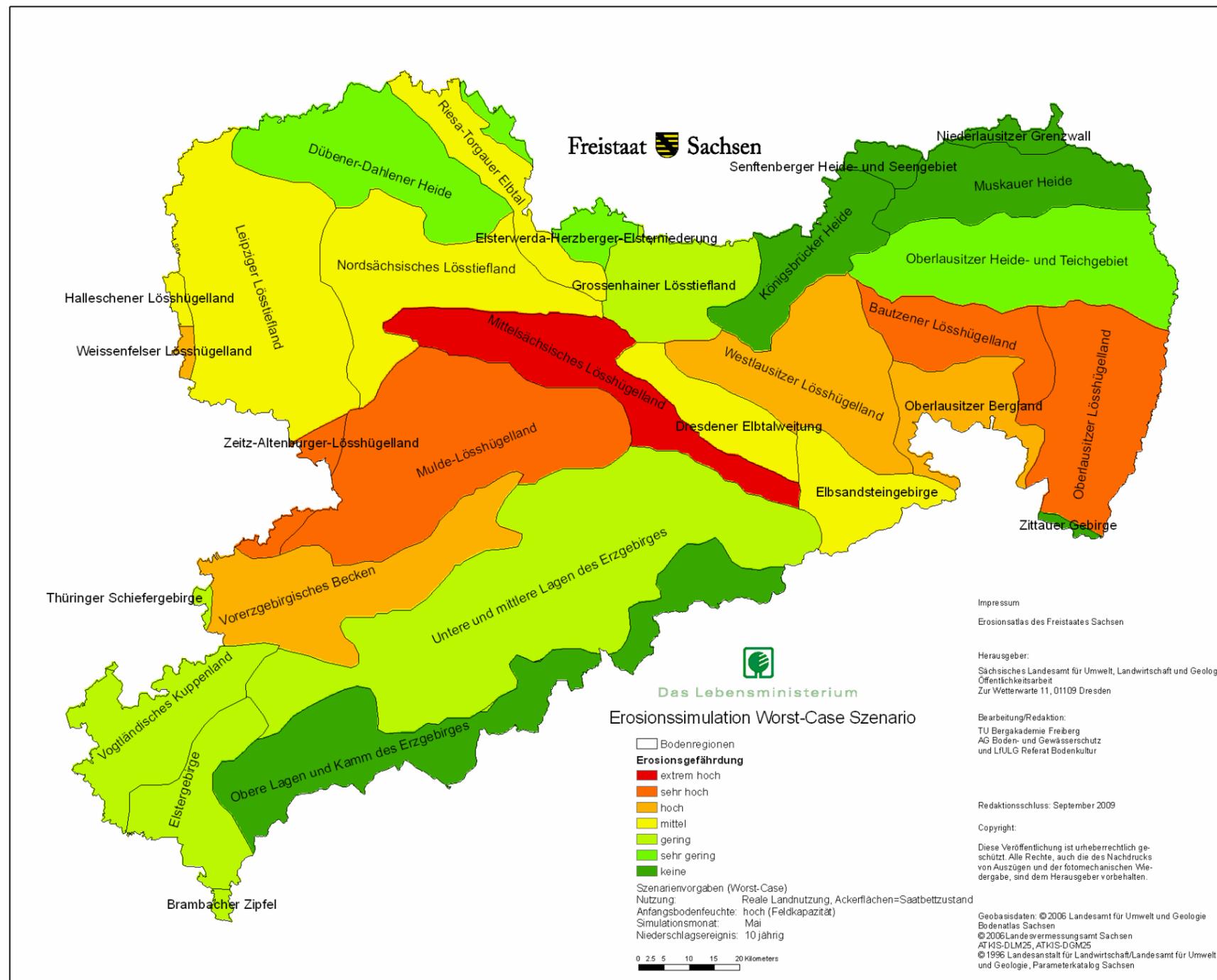


Abbildung 49: Erosionsgefährdung der Bodenregionen

Tabelle 14: Mittlerer Bodenabtrag der Bodenregionen

Bodenregion	Mittlerer Bodenabtrag [kg/m²]	Ackerflächenanteil [%]
Muskauer Heide	0,00	9.1
Senftenberger Heide- und Seengebiet	0,01	26.6
Königsbrücker Heide	0,01	20.7
Niederlausitzer Grenzwall	0,06	21.1
Zittauer Gebirge	0,12	0.36
Obere Lagen und Kamm des Erzgebirges	0,17	36.6
Elsterwerda-Herzberger-Elsterniederung	0,20	84.4
Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet	0,21	32.2
Dübener-Dahlener Heide	0,27	50.4
Brambacher Zipfel	0,55	9.9
Elstergebirge	0,57	28.4
Vogtländisches Kuppenland	0,79	41.2
Grossenhainer Lössstiefland	0,81	62.1
Thüringer Schiefergebirge	0,90	36.7
Untere und mittlere Lagen des Erzgebirges	0,98	38.2
Leipziger Lösshügelland	1,04	54.3
Riesa-Torgauer Elbtal	1,23	73.6
Dresdener Elbtalweitung	1,29	23.2
Nordsächsisches Lössstiefland	1,33	69.2
Halleschener Lösshügelland	1,70	98.5
Elbsandsteingebirge	1,77	22.4
Vorerzgebirgisches Becken	1,91	44.9
Weißenfelder Lösshügelland	2,24	81.4
Oberlausitzer Bergland	2,49	32.7
Westlausitzer Lösshügelland	2,56	40.9
Oberlausitzer Lösshügelland	4,62	49.8
Bautzener Lösshügelland	4,68	69.3
Zeitz-Altenburger-Lösshügelland	5,41	95.2
Mulde-Lösshügelland	5,41	62.0
Mittelsächsisches Lösshügelland	6,99	78.5

10-jähriges Niederschlagsereignis im Monat Mai

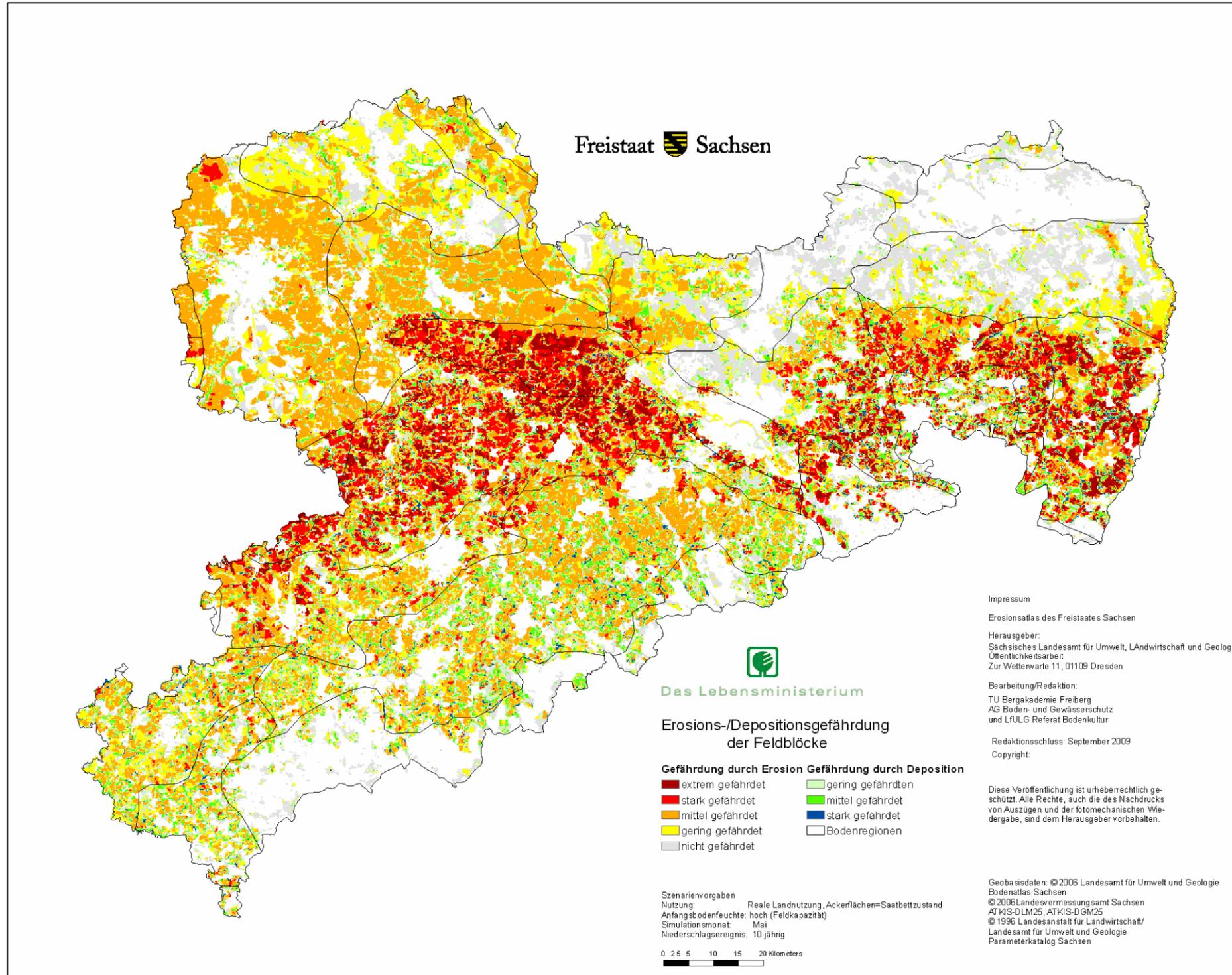


Abbildung 50: Erosionsgefährdung der Feldblöcke

Tabelle 15 gibt Aufschluss über die durch Erosion gefährdeten Feldblöcke der Bodenregionen. Die gefährdete Fläche bezieht sich auf die anteilige Ackerfläche. Die Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen wurden aus den zuvor berechneten Feldblockmitteln abgeleitet, da sonst die feldblockspezifische Aussagekraft der Ergebnisse nicht gegeben ist.

Tabelle 15: Statistische Auswertung der von Erosion gefährdeten Ackerlandfeldblöcke der Bodenregionen (geordnet nach anteiliger Erosionsgefährdung der Ackerlandfeldblöcke)

Bodenregion	Fläche [km ²]	Fläche [%]	Maximum [kg/m ²]	Mittelwert [kg/m ²]	Stabw
Senftenberger Heide- und Seengebiet	2,2	9,7	2,7	0,1	0,2
Muskauer Heide	8,7	18,0	27,4	0,2	1,3
Königsbrücker Heide	26,0	30,8	10,2	0,3	0,6
Elsterwerda-Herzberger-Elsterniederung	28,4	37,0	126,0	1,3	2,9
Niederlausitzer Grenzwall	7,0	37,6	4,9	0,5	0,8
Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet	128,4	39,9	105,0	1,3	2,6
Dübener-Dahleener Heide	193,2	50,0	86,3	1,1	1,4
Riesa-Torgauer Elbtal	145,8	58,8	80,1	3,3	2,9
Grossenhainer Lösstiefland	196,0	64,5	223,2	2,6	4,3
Brambacher Zipfel	1,2	73,0	17,3	4,8	3,9
Westlausitzer Lösshügelland	248,4	73,9	463,1	7,8	7,6
Dresdener Elbtalweitung	49,1	74,3	96,8	8,7	8,7
Obere Lagen und Kamm des Erzgebirges	71,5	76,6	32,6	3,1	2,8
Leipziger Lösstiefland	586,2	77,1	99,1	2,9	2,5
Vogtländisches Kuppenland	190,0	78,1	57,7	2,9	2,7
Bautzener Lösshügelland	223,1	78,5	398,0	10,8	8,0
Nordsächsisches Lösstiefland	442,0	79,1	60,0	3,0	2,5
Halleschener Lösshügelland	22,4	81,3	72,6	2,8	2,3
Elbsandsteingebirge	63,3	81,3	161,6	13,4	8,4
Elstergebirge	97,1	82,7	61,5	3,2	3,5
Weißenfelder Lösshügelland	14,9	83,0	37,4	4,9	5,1
Oberlausitzer Bergland	89,8	83,3	169,3	11,9	8,4
Untere und mittlere Lagen des Erzgebirges	752,8	83,5	118,5	3,9	3,6
Oberlausitzer Lösshügelland	348,0	84,0	399,8	12,5	8,7
Mittelsächsisches Lösshügelland	435,8	85,7	476,3	13,2	6,5
Vorerzgebirgisches Becken	314,7	86,5	244,0	6,3	6,4
Mulde-Lösshügelland	747,6	86,6	454,2	12,7	7,3
Zittauer Gebirge	0,04	87,7	15,4	14,6	0,6
Thüringer Schiefergebirge	4,5	90,2	21,7	4,1	3,1
Zeitz-Altenburger-Lösshügelland	66,8	94,1	135,0	11,2	6,2

10-jähriges Niederschlagsereignis im Monat Mai

Die Abweichungen zu Tabelle 14 werden vor allem durch den Anteil der gefährdeten Ackerfläche verursacht. Diese betreffen insbesondere großflächige Gebiete und damit flächenmäßig hoher Erosion, aber einer anteilig geringen Gefährdung der jeweiligen Ackerlandfeldblöcke. Die statistische Auswertung der durch Deposition gefährdeten Ackerlandfeldblöcke der Bodenregionen ist der Tabelle A4 des Anhangs zu entnehmen.

Potenziell gefährdete Gewässerabschnitte

Um die potenziell gefährdeten Gewässerabschnitte zu identifizieren, wurden die Ergebniskarten der Sedimentvolumina mit den Oberflächengewässern verschnitten. Abbildung 51 ist eine Rasterdarstellung der sächsischen Oberflächengewässer. Analog zu den Ergebnissen der Sedimentbudgetdarstellung konzentrieren sich die meisten potenziell gefährdeten Bereiche im sächsischen Lössgürtel mit einem hohen Ackerflächenanteil, schluffreichen Substraten und hohen Hangneigungen.

Aus der Auswertung der Sedimentsummen (t) in Oberflächengewässer ergeben sich folgende in Tabelle 16 dargestellten Problemgebiete:

Tabelle 16: Sedimenteintragsgefährdung sächsischer Einzugsgebiete (West nach Ost, ohne Sortierung)

Einzugsgebiet nach GKZ4	GKZ4	Abschnitt
Weißer Elster	5661	Oberlauf
Pleißer	5666	Ober- und Mittellauf
Vereinigte Mulde	5491	Oberlauf
Zwickauer Mulde	5417	Unterlauf
Chemnitz	5418	Unter- und Mittellauf
Zschopau	5426	Unterlauf
Freiberger Mulde	5429, 5425	Unterlauf
Große Striegis	5424	Unter- und Mittellauf
Bobritzsch	5422	Unterlauf
Elbe unterhalb der Weißeritzmündung	5373	Westlicher Teil
Elbe zwischen Schmilka und Weißeritzmündung	5371	Östlicher Teil
Große Röder	5384	Oberlauf
Schwarze Elster	5831	Oberlauf
Spree	5821	Oberlauf
Löbauer Wasser	5822	Ober- und Mittellauf
Schwarzer Schöps	5824	Oberlauf
Pleißnitz	6743	Ober- und Mittellauf
Lausitzer Neiße	6741	Oberlauf

GKZ = Gewässerkennzahl

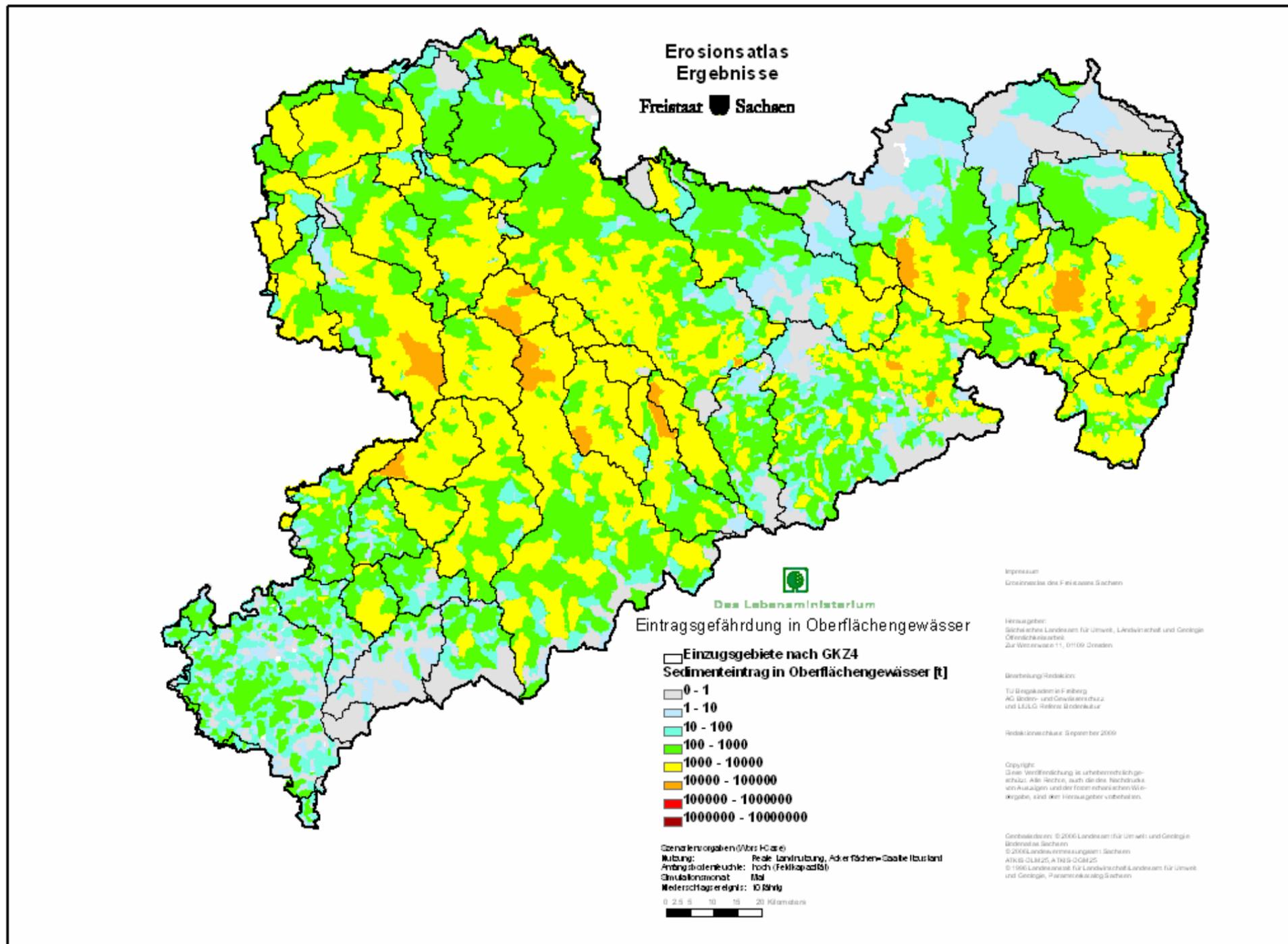


Abbildung 51: Sedimenteintragssummen in Oberflächengewässer

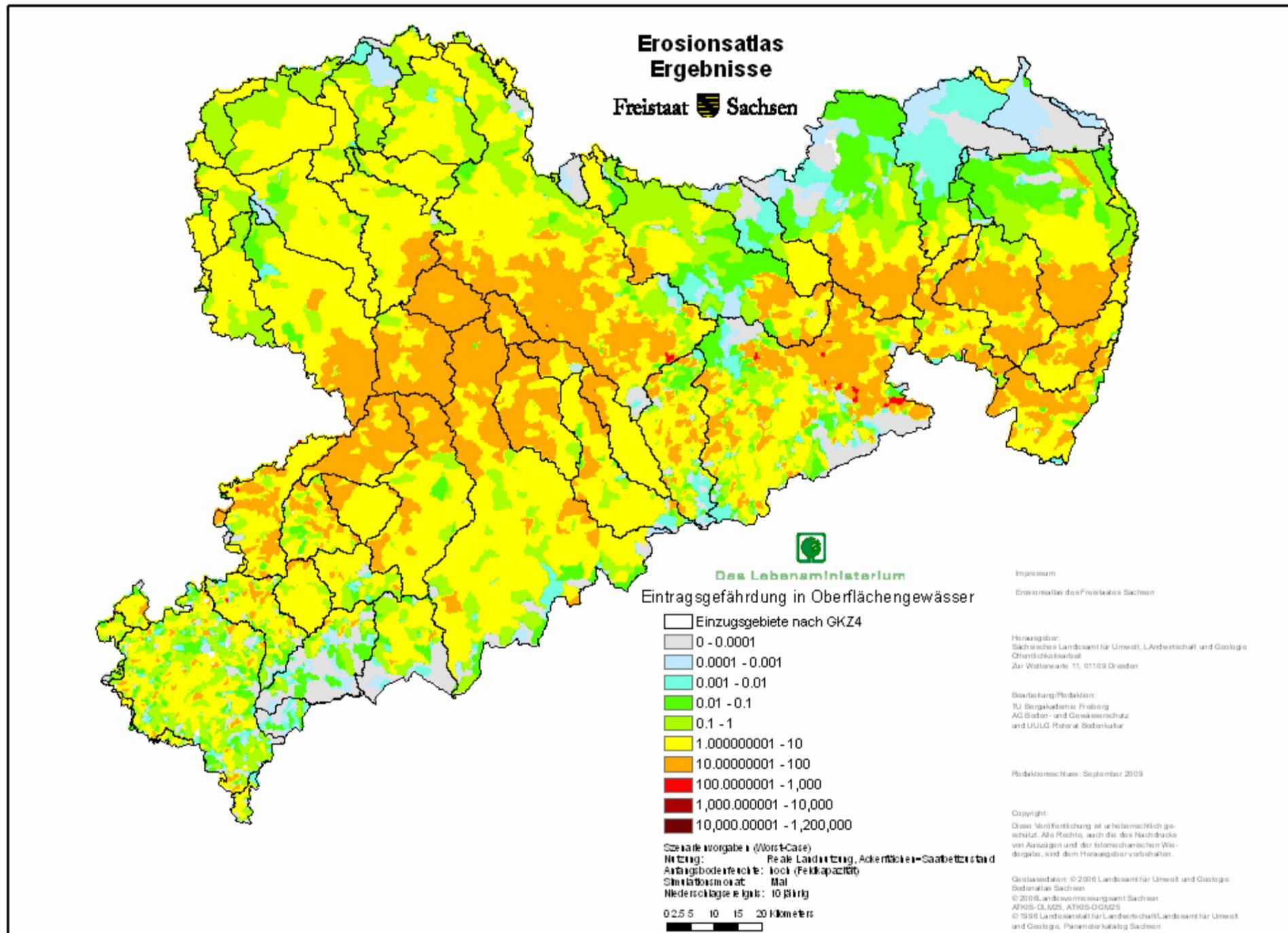


Abbildung 52: Sedimentausträge der Einzugsgebiete

Die Ausweisung der Sedimentausträge bezogen auf Einzugsgebiete ist stark von der Einzugsgebietsgröße und der damit zusammenhängenden Fließweglänge abhängig. So weisen vor allem große Gebiete (z. B. in Nordwestsachsen) hohe Beträge auf, wogegen kleinere (z. B. in Südwestsachsen) in der Gefährdungsklassifizierung eher zurücktreten. Da jedoch gebietsspezifische Aussagen zu Sedimentvolumina besonders für die Berechnung partikelgebundener Nähr- und Schadstoffeinträge von Bedeutung sind, ist diese Darstellung unerlässlich. Um flächenmäßig relative Aussagen zu treffen, werden zusätzlich Sedimentausträge für die einzelnen Einzugsgebiete ermittelt (vgl. Abbildung 52).

In Abbildung 53 sind die gefährdeten Gewässerabschnitte für den Freistaat Sachsen dargestellt.

5.4.2 Ist-Stand-Szenario

Die Verteilung der Erosions- und Depositionsflächen orientiert sich neben den Boden- und Reliefverhältnissen vor allem an den Kulturarten- und Bearbeitungsgrenzen, wie aus Abbildung 55 ersichtlich wird. Das Schwerpunktgebiet der Bodenumlagerung liegt bodenart- und reliefbedingt ebenfalls in der sächsischen Lössregion (vgl. Abbildung 54), wobei analog zum Worst-Case-Szenario das Mittelsächsische Lösshügelland die Region höchster Gefährdung ausmacht.

Verglichen mit dem Worst-Case-Szenario ist die Schwankungsbreite nur noch ca. 27 % des Worst-Case-Szenarios. Auch die gesamte von Erosion und Deposition betroffene Landesfläche nimmt ab und erreicht noch 45 % des Worst-Case-Szenarios. Das Verhältnis zwischen Erosion und Deposition bleibt bei $\frac{2}{3}$ zu $\frac{1}{3}$ annähernd gleich (Tabelle 17).

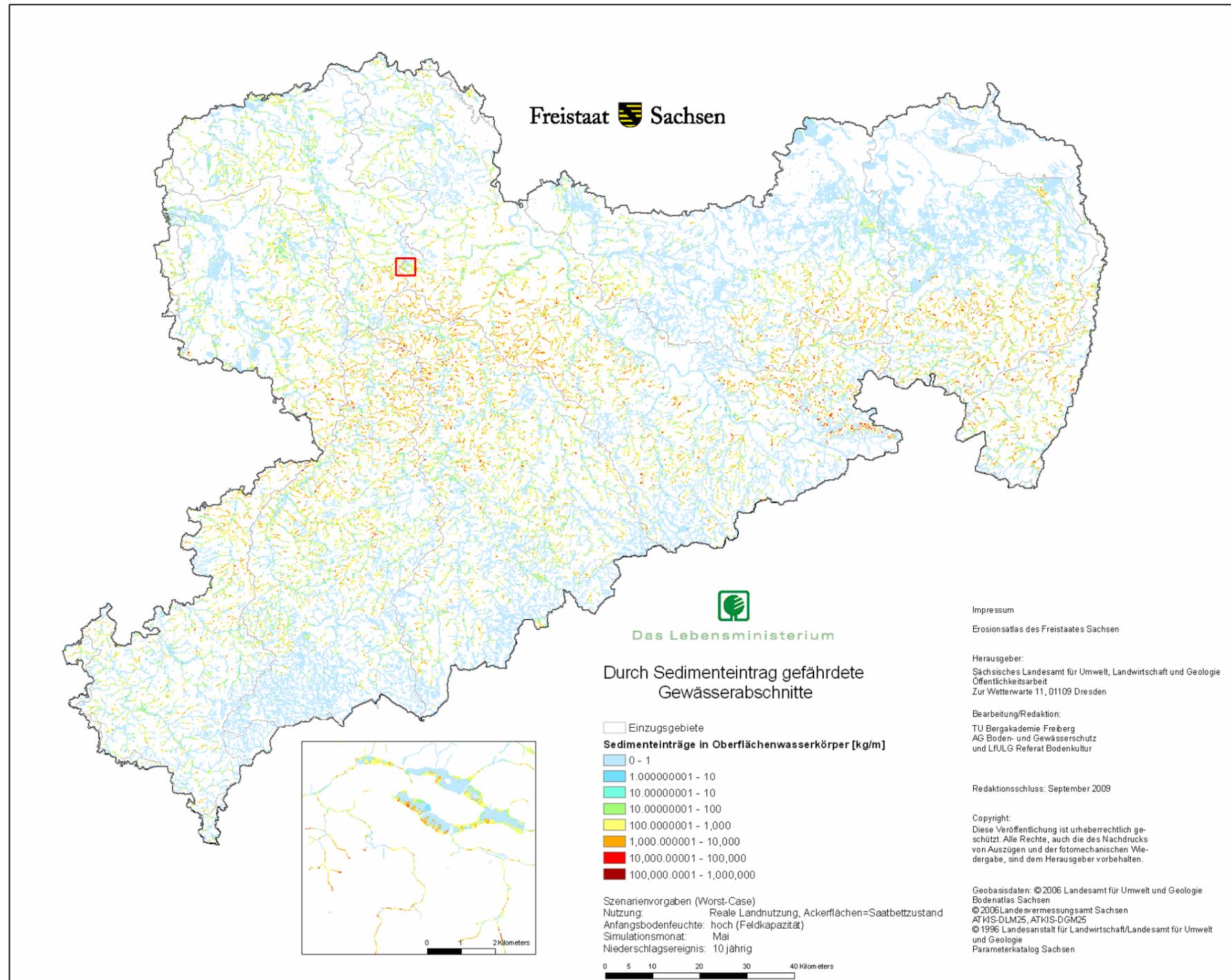


Abbildung 53: Sedimenteinträge in Oberflächengewässer

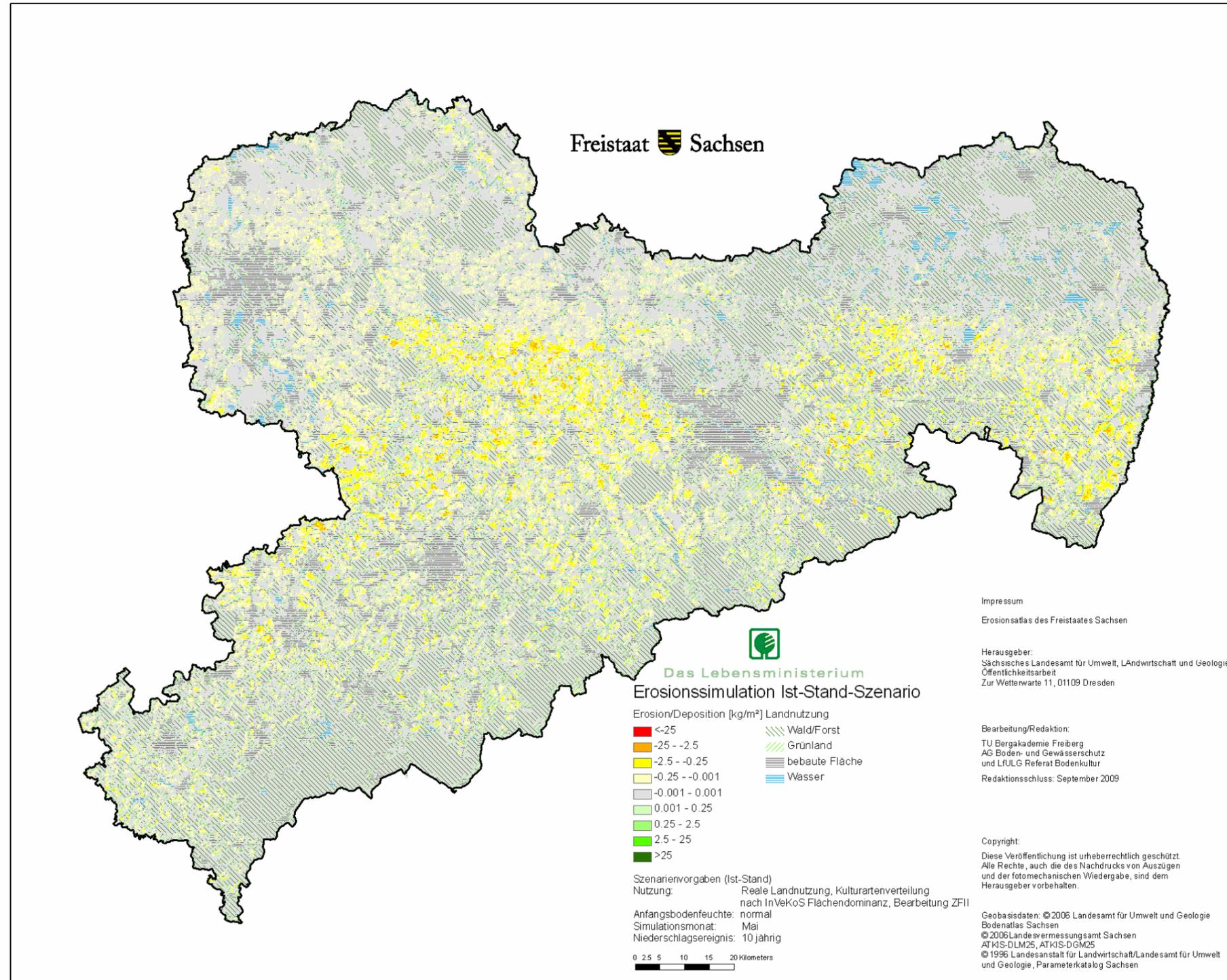


Abbildung 54: Erosion und Deposition für das Ist-Stand-Szenario

Tabelle 17: Statistische Auswertung des Ist-Stands-Szenarios

		Deposition	Erosion	Sedimentbudget
Mittelwert	[kg/m ²]	0,6	1,08	0,2
	[t/ha]	6,0	10,8	
Stabw		4,98	7,98	4,77
Flächengröße	[km ²]	3101	5272	18473
Anteil		16,79	28,53	-

10-jähriges Niederschlagsereignis im Monat Mai

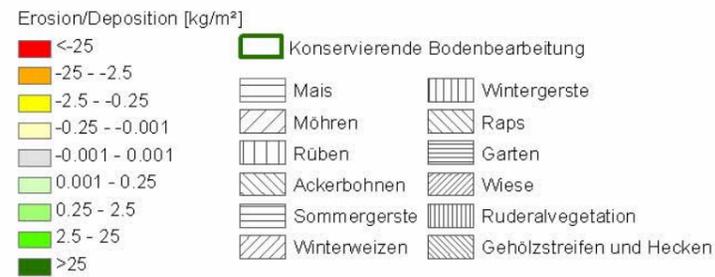
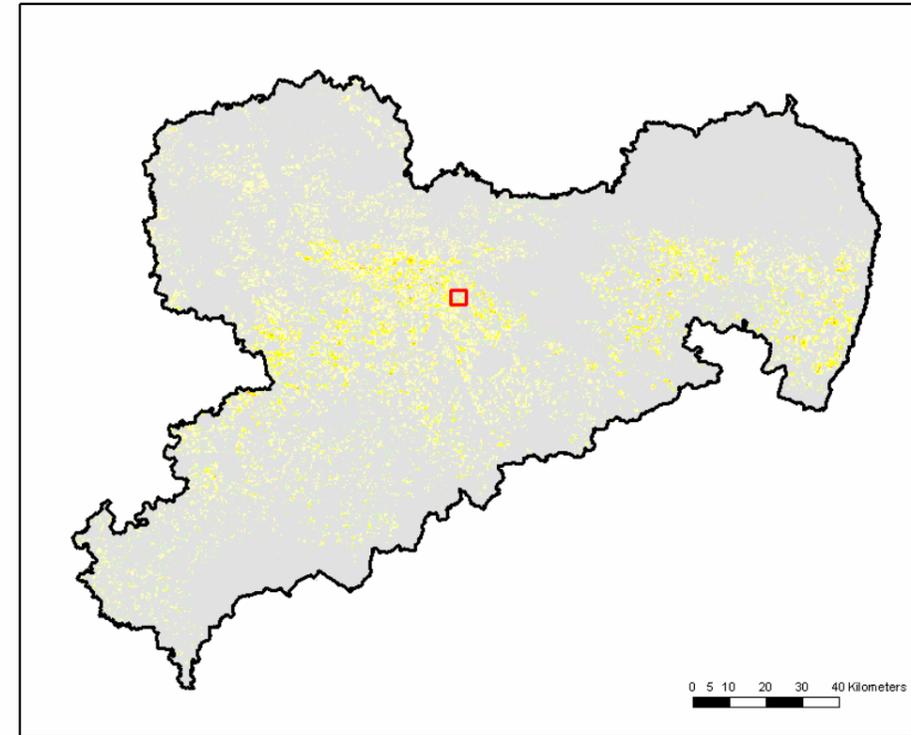
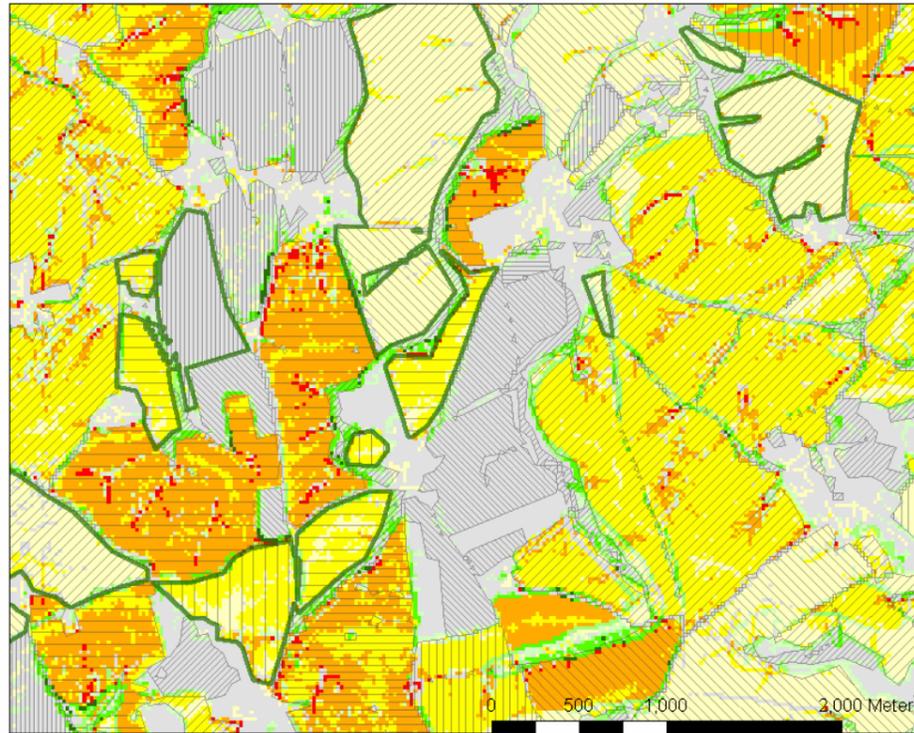
Der Rückgang der Erosion und Deposition auf dem gesamten Landesgebiet ist vor allem durch geringere Anfangswassergehalte und durch die reale Landnutzungsverteilung zu begründen (vgl. Tabelle 17).

Zudem stehen aufgrund des geringen Anteils an Sommerkulturen (12 %) weniger erosionsanfällige Flächen zur Verfügung. Darüber hinaus werden durch die mosaikartige Anordnung der Feldfrüchte in der Agrarlandschaft die erosiven Hanglängen verkürzt, sodass keine hohen Erosionsbeträge aufgrund kumulierten Oberflächenabflusses auftreten können (vgl. Abbildung 56).

Da die Feststoffdynamik erheblich von der Kulturartenverteilung abhängt, die vorliegende Berechnung jedoch eine Momentaufnahme für ein 10-jähriges Niederschlagsereignis im Monat Mai darstellt und die Kulturartenverteilung zwischen den Anbaujahren erheblich schwankt, ist es an dieser Stelle wenig sinnvoll, das Ist-Stand-Szenario analog zum Worst-Case-Szenario hinsichtlich gefährdeter Flächen und Gewässerabschnitte zu analysieren.

Erosionsatlas Ergebnisse

Freistaat  Sachsen



Szenarienvorgaben (Ist-Stand)
 Nutzung: Reale Landnutzung, Kulturartenverteilung
 nach InVeKoS Flächendominanz, Bearbeitung nach ZFI
 Anfangsbodenfeuchte: mittel (PKS normal)
 Simulationsmonat: Mai
 Niederschlagsereignis: 10-jährig



Das Lebensministerium

Erosionssimulation Ist-Stand Szenario

Impressum

Erosionsatlas des Freistaates Sachsen

Herausgeber:
 Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
 Öffentlichkeitsarbeit
 Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden

Bearbeitung/Redaktion:
 TU Bergakademie Freiberg
 AG Boden- und Gewässerschutz
 und LfULG Referat Bodenkultur

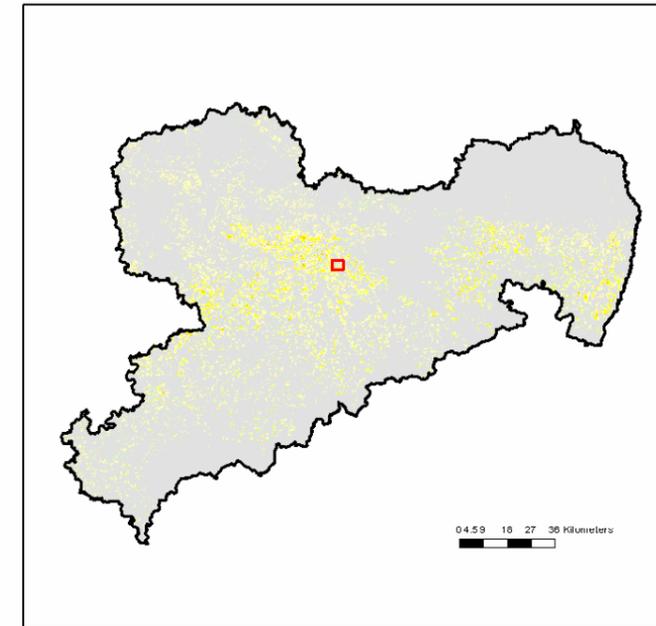
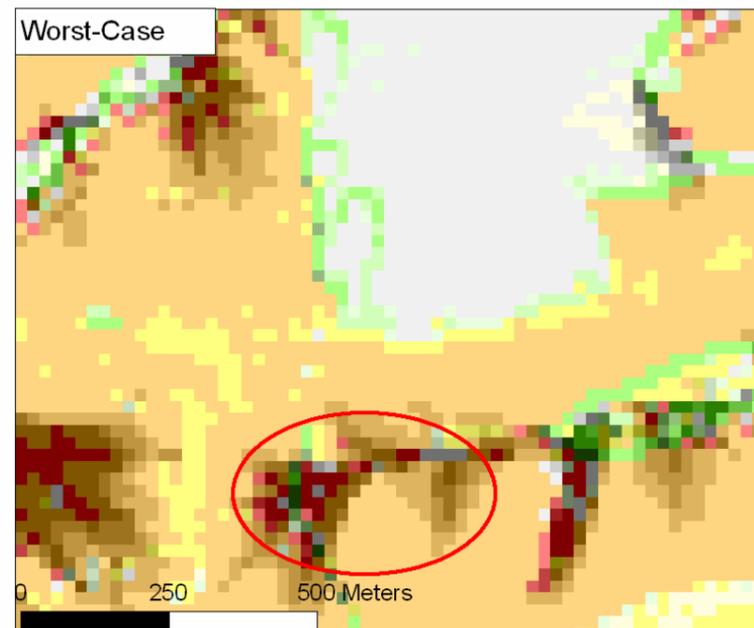
Redaktionsschluss: September 2009

Copyright:
 Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

Geobasisdaten: © 2006 Landesamt für Umwelt und Geologie
 Bodenatlas Sachsen
 © 2006 Landesvermessungsamt Sachsen
 ATKIS-DLM25, ATKIS-DGM25
 © 1996 Landesanstalt für Landwirtschaft/
 Landesamt für Umwelt und Geologie
 Parameterkatalog Sachsen

Abbildung 55: Plausibilitätsprüfung der Ist-Stand-Simulation (Kulturarten- und Bearbeitungsgrenzen)

Erosionsatlas Ergebnisse Freistaat Sachsen



Das Lebensministerium

Erosionssimulation Worst-Case Szenario

Erosion/Deposition [kg/m ²]	Oberflächenabfluss [m ³ /m]	Dominante Feldfrucht
<-25	0 - 1	Sommergerste
-25 - -2.5	1 - 2	Wintergerste
-2.5 - -0.25	2 - 3	
-0.25 - -0.001	3 - 4	
-0.001 - 0.001	4 - 5	
0.001 - 0.25	5 - 6	
0.25 - 2.5	6 - 7	
2.5 - 25	7 - 8	
>25	<8	

Szenariovorgaben (Worst-Case)
Nutzung: Reale Landnutzung, Ackerflächen=Saatzbestand
Anfangsbodenfeuchte: hoch (Feldkapazität)
Simulationsmonat: Mai
Niederschlagsereignis: 10-jährig

Impressum
Erosionsatlas des Freistaates Sachsen

Herausgeber:
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Öffentlichkeitsarbeit
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden

Bearbeitung/Redaktion:
TU Bergakademie Freiberg
AG Boden- und Gewässerschutz
und LFULG Referat Bodenkultur

Redaktionsschluss: September 2009

Copyright:
Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

Geobasisdaten: © 2006 Landesamt für Umwelt und Geologie
Bodenatlas Sachsen
© 2006 Landesvermessungsamt Sachsen
ATKIS-DLM25, ATKIS-DGM25
© 1996 Landesanstalt für Landwirtschaft/Landesamt für Umwelt und Geologie
Parameterkatalog Sachsen

Abbildung 56: Plausibilitätsprüfung der Ist-Stand-Simulation (Szenarienunterschiede)

5.5 Diskussion

Die angewendete Methodik erlaubt es, für Sachsen mit dem Modell EROSION 3D flächendeckende Aussagen zu Bodenabtrag und Deposition durch Wasser für Einzelereignisse und Referenzjahre zu treffen.

Grundsätzlich liefern die Simulationsrechnungen mit EROSION 3D plausible Ergebnisse. Verglichen mit älteren Datengrundlagen zur Bodenabtragsgefährdung kann durch die neuen Ergebnisse ein Erkenntnisfortschritt verzeichnet werden. Der Vergleich mit der physikalisch basierten Karte des PESERA-Modells (KIRKBY et al. 2004) führt zu folgenden wesentlichen Verbesserungen. Diese sind vor allem in der räumlich hoch aufgelösten, umfangreichen Prozessabbildung begründet.

1. Die in dieser Studie mit dem Modell EROSION 3D errechneten Bodenabträge sind plausibel und decken sich mit den Ergebnissen von SCHOB (2006) und SEIDEL (2008). Im Vergleich zu Ergebnissen des PESERA-Modells (KIRKBY et al. 2004) liegen die Bodenabtragsmengen von EROSION 3D fast eine Dimension darüber (vgl. Abbildung 57). Die Ursachen dafür liegen in der gewählten Rasterweite (20 m vs. 1 km), der zeitlichen Dimension (10-jähriges Ereignis vs. langjähriges Mittel) und der Szenarienabbildung.
2. Am stärksten von Erosion betroffen sind der sächsische Lössgürtel und die unteren Mittelgebirgslagen, wie es durch Beobachtungen belegt wird. Die physikalisch basierte Modellrechnung des PESERA-Modells (KIRKBY et al. 2004) (vgl. Abbildung 57) kommt zum gleichen Ergebnis, wobei der nördliche Teil des Lössgürtels als gering gefährdet eingestuft wird.
3. Die Berechnung der Erosion mit EROSION 3D orientiert sich wesentlich an Landnutzungsgrenzen und muss nicht nachträglich durch Landnutzung (Wald/Grünland) überlagert werden. Dieses Ergebnis kann auch mit der PESERA Modellierung, jedoch in erheblich verringerter Auflösung, reproduziert werden.
4. Die Erosion wird wesentlich durch die Abflussverteilung gesteuert. Das bedeutet, dass nicht nur die Hangneigung und Hanglänge, sondern auch die Abflussakkumulation Berücksichtigung finden muss.
5. Die prozessorientierte Simulation mit EROSION 3D kann den Sedimenttransport und die Sedimentdeposition einschließlich des Eintrages in Vorfluter abbilden, was zur Quantifizierung von Off-Site-Schäden unerlässlich ist. Aufgrund der geringen räumlichen Auflösung kann das vom PESERA-Modell nicht geleistet werden (vgl. Abbildung 57).

Bezüglich der Modellgenauigkeit veröffentlichte SCHOB (2007) eine mittlere relative Abweichung von 53 %. Sie untersuchte sieben verschiedene Arbeiten, die Bodenabtragssimulationen auf Parzellen- bis Einzugsgebietsgröße mit Messergebnissen validierten. Betrachtet man die zum Teil großen Schwankungen zwischen Wiederholungsberechnungen auf gleichen Flächen, die in den Untersuchungen von GOMEZ et al. (2001) und RÜTTIMANN (1995) zwischen 30 % und 50 % ausmachen können, ist die Gültigkeit der Simulationsergebnisse akzeptabel.

Abweichungen werden vor allem durch die Unsicherheiten der Eingangsdaten hervorgerufen, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Die genaue Verortung der Stoffumlagerungsprozesse wird vor allem durch die Qualität des DGM limitiert. Bei einer Rasterweite von 20 m ist die Abbildung kleinräumiger Geländestrukturen (wie z. B. Böschungen, Ackerraine, Wälle, Hohlwege), die jedoch maßgeblichen Einfluss auf Abflussrichtung und -akkumulation haben, nicht möglich. Es empfiehlt sich, bei detaillierten Gebietsbetrachtungen mit kleineren Rasterbreiten zu arbeiten.

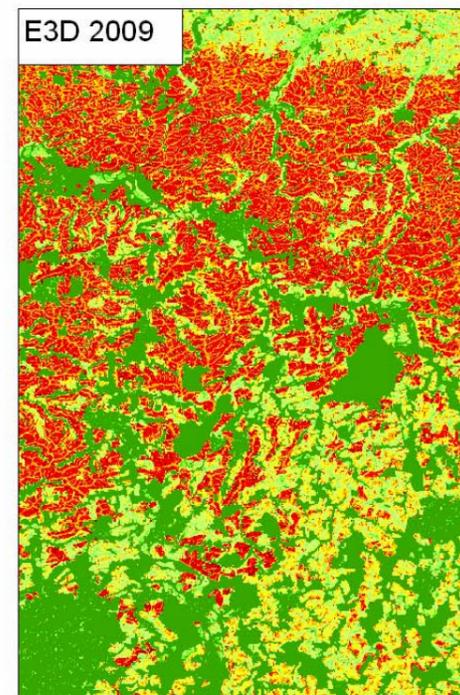
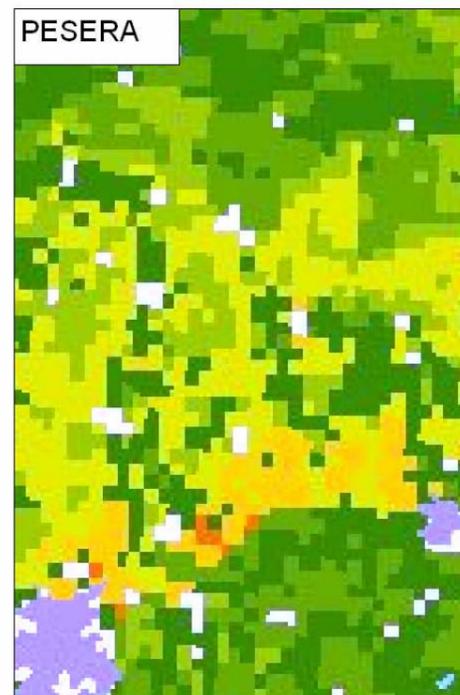
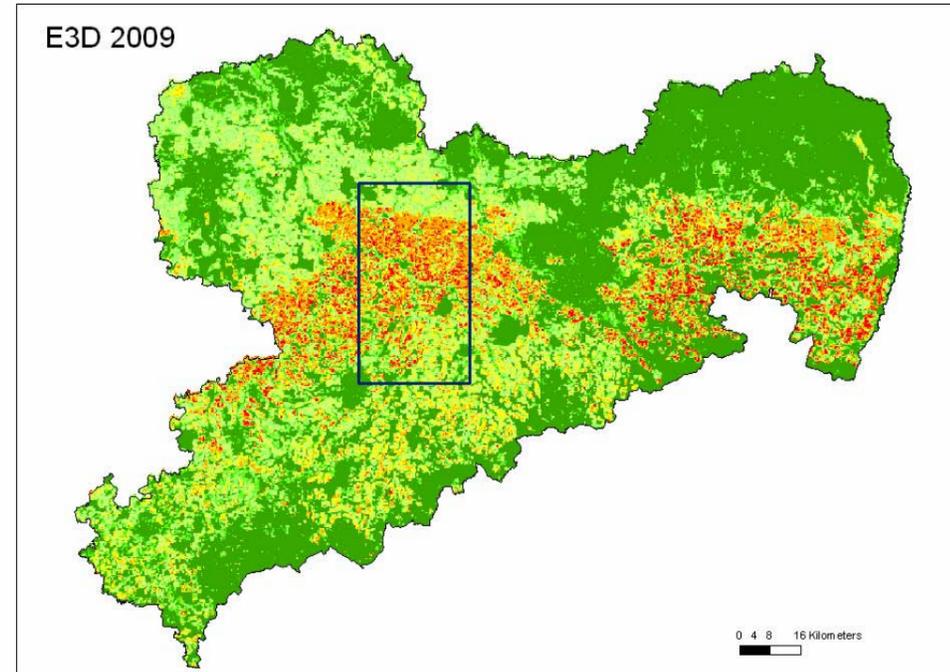
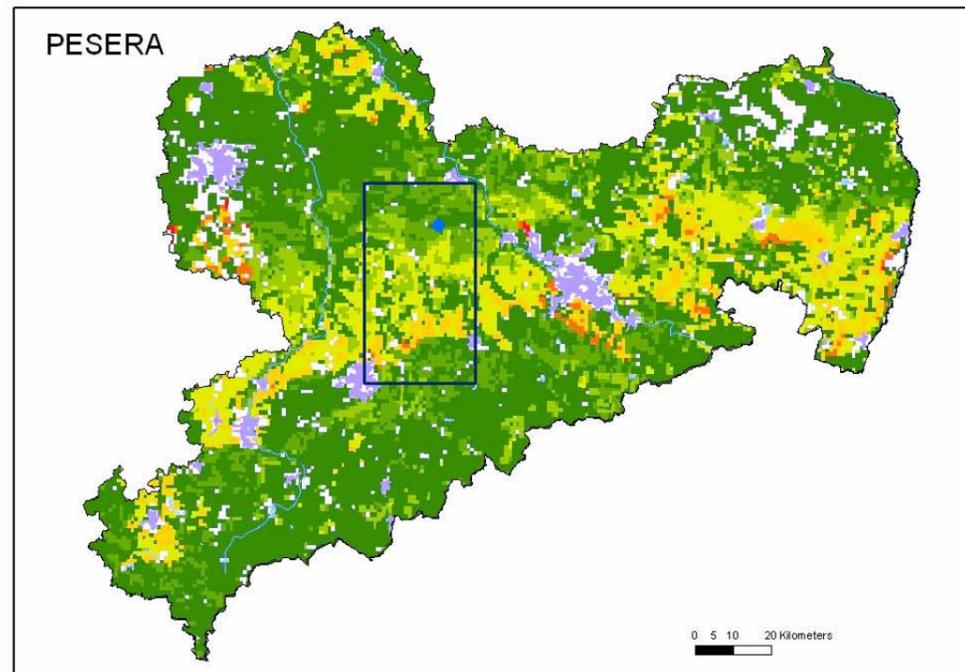
Die Landnutzungs- und Kulturarteninformationen haben eine durchgehend gute Qualität in diesem Maßstabsbereich. Diese sollte vor allem durch die Aktualisierung neuer InVeKoS-Feldblöcke, ATKIS-DLM oder anderer Datengrundlagen (z. B. Biotypen- und Landnutzungskartierung, BTLNK) beibehalten werden.

Die Bodendaten weisen insbesondere in Bezug auf die räumliche Auflösung Mängel auf. Da sachsenweit alle Daten im Maßstab 1:25.000 vorliegen, ist es dringend notwendig, die Generierung einer digitalen Bodenkarte in einem Maßstab >1:200.000 voranzutreiben. Da sich die Feststoffdynamik an den Grenzen der Bodenartenverteilung (vgl. Abbildung 47) orientiert und die Landnutzungs-Reliefdaten eine große Genauigkeit vorgeben, sind Bodeninformationen mindestens im Maßstab 1:50.000 unerlässlich.

Ein weiterer Kritikpunkt ist die Qualität der vorhandenen Fließgewässergeometrien. Da die offiziellen Daten untereinander nicht konsistent sind und deshalb ATKIS-DLM Gewässer und Fließgewässer voneinander abweichende Geometrien besitzen, wurden bei Erstellung der Raster beide Dateien verwendet. Daraus kann im Falle von Lageabweichungen die doppelte Gewässerbreite resultieren. Dieser Sachverhalt hat höhere abgeleitete Sedimentmengen in Fließgewässern zur Folge als es bei Abfrage der Einzugsgebietsauslässe der Fall wäre. Ein Test für das Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre ergab 25 % geringere Sedimentspenden für die Abfrage des Gebietsauslasses. Da jedoch die manuelle Abfrage von über 5.000 Auslässen im derzeitigen Vorhaben nicht leistbar ist und die Einträge in Stehgewässer für die Maßnahmenplanung im Zentrum des Interesses stehen, ist diese Vorgehensweise methodisch vertretbar. Unerlässlich ist dieses Vorgehen für die Identifizierung von gefährdeten Gewässerabschnitten, das sich quantitativ erst bei Vorlage einer konsistenten Datenlage verbessern lässt.

Weitere Unsicherheiten entstehen bei der Übertragung der Primärinformation auf Modellparameter. Diese Parameter basieren auf Messwerten aus kleinräumigen Beregnungs- und Infiltrationsversuchen. Streng genommen gelten diese Messwerte nur für die jeweilig untersuchten Parameterkonstellationen (Bodenart, Lagerungsdichte, Anfangsbodenfeuchte etc.) und sind erheblich vom Feldzustand und der Bodenbearbeitung abhängig. Mit der weiterentwickelten Datenbankanwendung DPROC wurde versucht, diese Parameterkonstellationen in sinnvolle und vor allem paramet-

risierbare Kategorien aufzuteilen. Trotz dieser Maßnahmen können einige Parameter innerhalb bestimmter Kategorien erheblich streuen, andere Kategorien hingegen sind nicht mit gemessenen Daten hinterlegt. Ein Ziel zukünftiger Untersuchungen muss es daher sein, diese Datenlücken weiter zu schließen. Der z. T. großen Parameterstreuung innerhalb der Kategorien kann mit entsprechenden Unsicherheitsanalysen begegnet werden (z. B. Monte-Carlo-Simulation).



Erosionsatlas Ergebnisse

Freistaat  Sachsen



Das Lebensministerium

Vergleich mit Bodenabtragskarte des PESERA-Modells (JRC)

Bodenabtrag PESERA [t/ha]	Bodenabtrag EROSION 3D [t/ha]
>50	>100
20-50	40-100
10-20	20-40
5-10	10-20
2-5	4-10
1-2	2-4
0.5-1	1-2
0-0.5	0-1

Szenarienvorgaben
 Nutzung: Reale Landnutzung, Ackerflächen=Saatzbettzustand
 Anfangsbodenfeuchte: hoch (Feldkapazität)
 Simulationsmonat: Mai
 Niederschlagsereignis: 10-jährig

Impressum

Erosionsatlas des Freistaates Sachsen

Herausgeber:
 Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
 Öffentlichkeitsarbeit
 Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden

Bearbeitung/Redaktion:
 TU Bergakademie Freiberg
 AG Boden- und Gewässerschutz
 und LFULG Referat Bodenkultur

Redaktionschluss: September 2009

Copyright:
 Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

Geobasisdaten: © 2006 Landesamt für Umwelt und Geologie
 Bodentlas Sachsen
 © 2006 Landesvermessungsamt Sachsen
 ATKIS-DLM25, ATKIS-DGM25
 © 1996 Landesanstalt für Landwirtschaft/
 Landesamt für Umwelt und Geologie
 Parameterkatalog Sachsen

Abbildung 57: Vergleich der Erosionssimulation der Modelle EROSION 3D und PESERA

6 Zusammenfassung und Fazit

Die Einbeziehung umweltbezogener Kriterien in die landwirtschaftlichen Förderprogramme (z. B. ELER) und das Einhalten gesetzlicher Regelungen (z. B. EU-WRRL, BBodSchG) gewinnt zunehmend an Bedeutung. Maßnahmenbezogene und prozessorientierte Bewertungen der landwirtschaftlichen Managementverfahren auf die Wasser- und Stoffflüsse ländlicher Einzugsgebiete geraten dabei in den Vordergrund der Gebietsbetrachtung. Simulationsmodelle stellen dafür erprobte Werkzeuge dar. Um schnelle, effektive und vergleichbare Aussagen treffen zu können, müssen Modellsimulationen auf regionaler Ebene einheitlich durchgeführt werden. In der nationalen und internationalen Literatur finden sich viele Beispiele für die Anwendung empirischer Modellierungen zur Simulation von Wasser- und Stoffflüssen (FÜRST et al. 2009, ALI et al. 2008, MOHMANDI et al. 2008, BOU KHEIR et al. 2006, LIM et al. 2005, LNUV 2004). Eine zeitintensive Parametrisierung und hohe Parameteraufwände verhinderten bis dato den flächendeckenden Einsatz physikalisch basierter Modelle. Dieser ist jedoch aus Sicht einer korrekten Bodenabtrags- und vor allem Sedimenteintragsabschätzung unumgänglich.

Durch das FuE-Vorhaben ist es gelungen, Parametrisierung und Modellanwendung so zu kombinieren, dass eine physikalisch basierte Bodenabtragssimulation mit dem Modell EROSION 3D flächendeckend für Sachsen mit vertretbarem Zeitaufwand durchführbar ist. Der korrigierte und angepasste Geo-Basisdatensatz liefert die Primärinformation zur Datenbankabfrage der Parametrisierungssoftware DPROC. Eine interaktive Flächenauswahl ermöglicht, kombiniert mit einem Flächendatenzuschnitt, die schnelle Parametrisierung von Landnutzungs- und Bearbeitungsszenarien für hydrologischer Einzugsgebiete oder Oberflächenwasserkörper. Die grundlegend korrigierte und erweiterte Datenbank des DPROC erlaubt die verbesserte Abschätzung erosionsrelevanter Bodenparameter (Erosionswiderstand, Skinfaktor, Oberflächenrauigkeit u. a.) besonders für moderne Bodenbearbeitungsverfahren wie z. B. dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat. Die umfangreiche Dokumentation der Arbeitsschritte und die Transparenz der Datenbank ermöglicht es, jederzeit Aktualisierungen (Geo-Basisdaten) und Erweiterungen (DPROC-Datenbank) vorzunehmen. Die Kompatibilität des Instrumentes EROSION 3D mit verbreiteten Softwareprodukten (Microsoft, ESRI u. a.) gewährleistet dabei einen vielfältigen und nutzerfreundlichen Einsatz.

Für die Facharbeit der Umwelt- und Landwirtschaftsbehörden steht damit ein anwenderfreundliches, zeitsparend und grundlegend verbessertes Softwarepaket zur prozessorientierten Simulation der Bodenerosion- und Deposition zur Verfügung. Auf dieser Basis können die Wirkungen von Landschaftseingriffen, Landnutzungsänderungen, bei langfristiger Betrachtung auch die Effekte regionaler Klimaänderungen auf Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Sedimenteintrag in Gewässer schnell und unkompliziert abgeschätzt werden.

Um die Aktualität dieses Instrumentes auch weiterhin zu gewährleisten, sind zukünftig folgende Maßnahmen durchzuführen:

Erweiterung und Pflege der Flächendatenbank

- Ableitung der dominanten Nutzungen aus InVeKoS-Feldblöcken für die Folgejahre
- Erweiterung der Flächendatenbank um neue Nutzungsinformationen (Biotoptypen- und Landnutzungskartierung, verbessertes ATKIS-DLM25)
- Erweiterung der Flächendatenbank um neue Bodeninformationen (BK50)
- Erweiterung der Flächendatenbank um neue Reliefinformationen (DGM2, DGM5)
- Verfügbarmachung der KOSTRA-Daten.

Erweiterung und Pflege der Bodendatenbank

- Einarbeiten neuer Versuchsergebnisse von Regensimulationsversuchen hinsichtlich Infiltration und Bodenabtrag, besonders für langjährig konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat-anwendungen
- Ausbau der Bodendatenbank für Mehrschichtinfiltration
- Erweiterung und Spezifizierung der Bodendatenbank hinsichtlich Verfahren konservierender Bodenbearbeitung und der Direktsaat.

Spezielle Anwendungen des Softwarepaketes im Bereich der Umsetzung der EU-WRRL und im vorsorgenden Hochwasserschutz

- Berechnung partikelgebundener Stoffausträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen
- Berechnung partikelgebundener Stoffeinträge in Oberflächenwasserkörper
- Validierung der Ergebnisse für Teileinzugsgebiete.

7 Quellenverweis

- AG BODEN (2005): 5. Auflage Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 438 S.
- AFL PIRNA (2007): Förderrichtlinie Agrarumweltmaßnahmen und Waldmehrung – RL AuW/2007. Pirna.
- ALI, M. T., NIKKAMI, D. (2008): Methodologies of preparing erosion features map by using RS and GIS, *International Journal of Sediment Research*, 23, 130-137.
- ASTALOSCH, R. (1990): Beregnungsversuche zur Parameterbestimmung zeitlich differenzierter Erosionsmodelle (Vertiefungsarbeit). TU Karlsruhe.
- AUERSWALD, K., M. KAINZ, F. SCHRÖDER UND W. MARTIN (1992): Comparison of German and Swiss rainfall simulators – Experimental Setup. *Z. Pflanzenernäh. U. Bodenk.*, 155.
- BARTELS, H. (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland: KOSTRA. Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- BRANDT, C. J. (1989): Simulation of kinetic of rainfall under vegetation. Paper presented to Brit. Geom. Res. Group Symp. On Vegetation and Geomorphology, Bristol, UK.
- BOU KHEIR, R., CERDAN, O. ABDALLAH, C (2006): Regional soil erosion risk mapping in Lebanon. *Geomorphology*, 82, 347-359.
- CAMBELL, G.S. (1985): Soil physics with BASIC - Transport models for soil-plant systems. Elsevier. Amsterdam.
- DIEM, M. UND R. STRANZ (1971): Typen der Regentropfenspektren II: Abhängigkeit von der Regenintensität. *Meteorologische Rundschau*, 24. Jhg., Heft 1.
- DEUMLICH (1995): Daten zu Erosionsversuchen, zitiert in Michael (2000): Anwendung des physikalisch begründeten Erosionsprognosemodells EROSION 2D/3D – Empirische Ansätze zur Ableitung der Modellparameter (Dissertation). Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- DWD (2005): KOSTRA-DWD-2000 – Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 - 2000) – Grundlagenbericht. Offenbach am Main.
- DYCK, S. G. PESCHKE (1995): Grundlagen der Hydrologie. Berlin, Verlag für Bauwesen, 536 S.
- FUCHS, A. (2009): Verwendung flächendeckender Starkniederschlagsdaten (KOSTRA) zur Modellierung der Bodenerosion in Sachsen (Studienarbeit). Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- FÜRST, J. UND T. HÖRHAN (2009): Coding of watershed and river hierarchy to support GIS-based hydrological analyses at different scales. *Computer & Geosciences*, 3. 35. 688 - 696.
- FOSTER, G. R., (1982): Modeling the erosion process. C. T. HAAN, H.P. JOHNSON, D. L. BRAKENSIEK (Hrsg.): *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. ASAE Monograph No. 5, St. Joseph, MI.

- GEOGNOSTICS (2005): Erarbeitung der digitalen Datengrundlage für die Anwendung von EROSION 3D auf mesoskaliger Maßstabsebene mit Durchführung einer Erosionssimulation für das zu bearbeitende Gebiet. Berlin.
- GERLINGER, K. (1997): Erosionsprozesse auf Lössböden (Dissertation). Institut für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe.
- GÓMEZ, J.A., NEARING, M.A., GIRÁLDEZ, J.V., ALBERTS, E.E. (2001): Analysis of sources of variability of runoff volume in a 40 plot experiment using a numerical model. *Journal of Hydrology* 248, 183–197.
- GREEN, W.H. UND G.A. AMPT (1911): Studies on soil physics. - *J. Agr. Science.* 4: 1 - 24.
- GROSCH, J. (2007): In-situ Untersuchung zur Infiltrationsleistung von Löss-Ackerböden unter Direktsaat mit Berücksichtigung typischer Fruchtfolgen (Diplomarbeit). Freiberg.
- HASSEL, J. M. UND G.H. RICHTER (1992): Ein Vergleich deutscher und schweizerischer Regensimulatoren nach Regenstruktur und kinetischer Energie. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 155.
- HEBEL, B (2003): Validierung numerischer Erosionsmodelle in Einzelhang- und Einzugsgebiets-Dimension. In: *Physiogeographica*, Baseler Beiträge zur Physiogeographie. Universität Basel.
- HELBIG, M. (2007): Experimentelle Untersuchungen und Modellrechnungen zum Wasseraufnahmevermögen von Waldböden. Diplomarbeit. Freiberg.
- JETTEN, V., DE ROO, A. UND D. FAVIS-MORTLOCK (1999): Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models. In: *Catena*, 37 (3-4), S. 521-541
- KAINZ, M., K. AUERSWALD UND R. VÖHRINGER (1992): Comparison of German and Swiss rainfall simulators – Utility, labor, demand and Costs. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 155.
- KIRKBY, M.J., JONES, R.J.A., IRVINE, B., GOBIN, A, GOVERS, G., CERDAN, O., VAN ROMPAEY, A.J.J., LE BISSONNAIS, Y., DAROUSSIN, J., KING, D., MONTANARELLA, L., GRIMM, M., VIEILLEFONT, V., PUIGDEFABREGAS, J., BOER, M., KOSMAS, C., YASSOGLU, N., TSARA, M., MANTEL, S., VAN LYNDEN, G.J. AND HUTING, J. (2004): Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- KLIK, A., ZARTL, A.S., HEBEL, B. UND J. SCHMIDT (1998): Comparing RUSLE, EROSION 2D/3D, and WEPP soil loss calculations with four years of observed data. ASAE Paper No. 982055.
- KÖHLER, S. (2000): Eine Datenbank-Anwendung zur komfortablen Auswahl von Parametern für ein Bodenerosionsprogramm. Belegarbeit. Freiberg, TU Bergakademie.
- KOSCHITZKI, T. (2004): GIS-basierte, automatische Erfassung natürlicher Fließgewässerhierarchien und ihre Abbildung in Datenbanken, beispielhaft dargestellt am Einzugsgebiet der alza. Dissertation. Mathematisch-Technische Fakultät. Martin Luther Universität Halle.

- KÖTHE, R.; BOCK, M. UND E. VOGEL. (2005): Expertise zum Forschungsvorhaben. Landnutzung und Hochwasserschutz. Teilvorhaben Reliefanalyse Sachsen: Korrektur des ATKIS-DGM, Berechnung morphometrische Reliefparameter, Erstellung einer digitalen Geomorphographischen Karte (GMK20 Sachsen), Untersuchungen zur Erosion und Auenbödenverbreitung. Göttingen.
- LAWA (1978): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.). Gewässereinzugsgebiete mit Unterteilung und Kennzeichnung nach LAWA-Schlüssel.
- LAWS, J.O. und D.A. PARSON (1943): The relation of raindrop size to intensity. - Trans. Am. Geophys. Union. 24: 452-460.
- LAWS, J.D. (1941): Measurements of the fall velocity of water-drops and raindrops. Trans. Am. Geophys. Union, 3, 21: 709-721.
- LFL UND GEOGNOSTICS (2005): Erarbeitung der digitalen Datengrundlage für die Anwendung von EROSION-3D auf mesoskaliger Maßstabsebene mit Durchführung einer Erosionssimulation für das zu bearbeitende Gebiet. Endbericht des FuE-Vorhabens der LfL. Leipzig/Berlin, LfL/GeoGnostics, 88 S.
- LFUG (2004): Oberflächenwasserleitfaden - Umsetzung der Bestandsaufnahme gemäß Artikel 5 der EU-Wasserrahmenrichtlinie für das Gebiet des Freistaates Sachsen im Hinblick auf die erste Berichterstattung 2004/2005 an den Flußgebietseinheiten. Dresden.
- LFL UND LFULG (1996): EROSION 2D ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser - Band II Parameterkatalog Sachsen - Anwendung, Freiberg.
- LFUG (1994a): Bodenerosionsmessprogramm Sachsen Auswertung der Beregnungsversuche 1 – 28. 4. - 31.10.1993, Freiberg.
- LFUG (1994b): Bodenerosionsmessprogramm Sachsen Auswertung der Beregnungsversuche 29 - 49 vom 2. - 12.05.1994, Freiberg.
- LFUG (1995a): Bodenerosionsmessprogramm Sachsen Auswertung der Beregnungsversuche 50 - 76 vom 26.9. - 12.10.1994, Freiberg.
- LFUG (1995b): Bodenerosionsmessprogramm Sachsen Auswertung der Beregnungsversuche 77 - 94 vom 9.5 - 19.5. 1995, Freiberg.
- LFUG (1996): Bodenerosionsmessprogramm Sachsen Auswertung der Beregnungsversuche 95 - 116 vom 3.10. - 13.10. 1996, Freiberg.
- LIM, K. J., SAGONG, M., ENGEL, B. A., TANG, Z., C., JOONGDAE, KIM, KI, S. (2005): GIS-based assessment tool. CATENA, 64, 61-80.
- LNUV (2004): Maßnahmen zur Minderung von Bodenerosion und Stoffabtrag von Ackerflächen. In: Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz. Abschlussbericht des NRW-Verbundvorhabens "Boden- und Stoffabtrag von Ackerflächen - Ausmaß und Minderungsstrategien". Essen.
- LTV (2002): Nitratbericht Sächsischer Trinkwassertalsperren – Bericht der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen zur Belastung der sächsischen Talsperren mit Nitrat bis zum Jahre 2002. Dresden.

- MICHAEL, A. (2000): Anwendung des physikalisch begründeten Erosionsprognosemodells EROSION 2D/3D – Empirische Ansätze zur Ableitung der Modellparameter (Dissertation). Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- MOHAMMADI, T, NIKKAMI, D. (2008): Methodologies of preparing erosion features map by using RS and GIS, *International Journal of Sediment Research*, 23, 130-137.
- REGER, D. (2007): Vergleich des Infiltrationsverhaltens ackerbaulich genutzter Böden nach konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung. (Studienarbeit). Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- RENSCHLER, C.S. UND J. HARBOR (2002): Soil erosion assesment tools from point to regional scales – Tje role of geomorphologists in land management research and implementation. *Geomorphology*, 2 - 4. 47: 189 - 209.
- RÜTTIMAN, M., SCHAUB, D., PRASUHN, V., RÜEGG, W. (1995): Measurement of runoff and soil erosion on regularly cultivated fields in Switzerland — some critical considerations. *Catena* 25, 127–139.
- SCHERER, U. (2008): Prozessbasierte Modellierung der Bodenerosion in einer Lösslandschaft. Dissertation. Fakultät für Bauingenieur- und Umweltwissenschaften. Universität Karlsruhe.
- SCHILDE, M. (2008): Modeling Soil Erosion in the Zhifanggou-Watershed on the Chinese Loess Plateau using Erosion 2D/3D (Diplomarbeit). Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- SCHINDEWOLF, M. UND SCHMIDT, W. (2009): Validierung EROSION 3D - Prüfung und Validierung des neu entwickelten Oberflächenabflussmoduls des Modells EROSION 3D im Zusammenhang mit Maßnahmen des vorsorgenden Hochwasserschutzes auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 15/2009
- SCHOB, A., J. SCHMIDT UND R. TENHOLTERN (2006): Derivation of site-related measures to minimise soil erosion on the watershed scale in the Saxonian loess belt using the model EROSION 3D. *Catena* 86, 2 - 3. P.153 - 160.
- SEIDEL, N. (2008): Untersuchung der Wirkung verschiedener Landnutzungen auf den Oberflächenabfluss und Bodenerosion mit einem Simulationsmodell (Dissertation). TU Bergakademie Freiberg.
- SCHMIDT, J. (1988): Wasserhaushalt und Feststofftransport an geeigneten landwirtschaftlich bearbeiteten Nutzflächen (Dissertation). Freie Universität Berlin.
- SCHMIDT, J. (1996): Entwicklung und Anwendung eines physikalisch begründeten Simulationsmodells für die Erosion geeigneter, landwirtschaftlicher Nutzflächen. *Berliner Geographische Abhandlungen*, 61. Berlin, Institut für Geographische Wissenschaften der Freien Universität, 148 S.
- SCHMIDT, J., V. WERNER, M. UND A. MICHAEL (1999): Application of the EROSION 3D Model to the Catsop Watershed, The Netherlands. In: De Roo, A.(Ed.): *Modelling Soil Erosion by Water at the Catchment Scale*. *Catena* 418

- SEIDEL, N. UND SCHMIDT, J. (2009): Effects of land use on surface runoff – simulations with the EROSION 3D Computer Model. GEOÖKO 3-4, Vol. 29
- SCHMIDT, J. UND M. V. WERNER (2000): Modeling Sediment and Heavy Metal Yields of Drinking Water Reservoirs in the Osterzgebirge Region of Saxony (Germany). In: Schmidt, J. (Ed.): Soil Erosion - Application of Physically Based Models. Berlin, Heidelberg, New York
- SCHOB, A. (2006): Untersuchung der Erosionspotentiale in ausgewählten Wassereinzugsgebieten sächsischer Flussperlmuschelgewässern. Endbericht zum gleichnamigen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Freiberg.
- SMUL (2005): Europäische Wasserrahmenrichtlinie – Neue Impulse für Sachsen Kompaktbericht zur Bestandsaufnahme nach WRRL im Freistaat Sachsen. Dresden.
- LFUG (2004): Oberflächenwasserleitfaden - Umsetzung der Bestandsaufnahme gemäß Artikel 5 der EU-Wasserrahmenrichtlinie für das Gebiet des Freistaates Sachsen im Hinblick auf die erste Berichterstattung 2004/2005 an den Flußgebietseinheiten. Dresden.
- SCHRAMM, M. (1994): Ein Erosionsmodell mit räumlich und zeitlich veränderlicher Rillenmorphologie (Dissertation). TU Karlsruhe.
- VAN GENUCHTEN, M.T. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. - Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898.
- VEREECKEN, H. ET AL. (1989): Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content. - Soil science. 148. 6: 389-403.
- V. WERNER, M. (2007): Datenbank-Prozessor Benutzerhandbuch. Berlin.
- WISCHMEIER, W. H. UND D.D. SMITH (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook N. 573, United States Dept. of Agriculture, Washington, D.C.
- ZIMMERMANN, T.(1989): Effekte der kinetischen Energie natürlicher Starkregen - Konsequenzen für die technische Gestaltung von Beregnungssimulatoren zur kleinflächigen Infiltrationsmessung. Vertiefungsarbeit am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft. Universität Karlsruhe (unveröffentlicht).

Datengrundlagen

- LFL (2006): Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem - Feldblockgeometrie und Kulturarten.
- LFL (2006): Umweltverträgliche Landwirtschaft im Freistaat Sachsen - Maßnahmenanträge zur Zusatzförderung II.
- LFUG (2007): Bodenatlas des Freistaates Sachsen - Teil 4: Auswertungskarten zum Bodenschutz.
- LVA (2007): Amtliches Topographisches Karteninformationssystem – Digitales Geländemodell 1:25.000.
- LVA (2007): Amtliches Topographisches Karteninformationssystem Digitales Landschaftsmodell 1:25.000.

8 Glossar

ABAG	Die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung dient der empirischen Ermittlung des mittleren jährlichen Bodenabtrags durch Wasser. Dabei handelt es sich um die Übertragung der USLE (Universal Soil Loss Equation, Wischmeier und Smith 1978) auf europäische Verhältnisse.
Einzugsgebiet	Auch hydrologisches Einzugsgebiet, ist ein klar abgrenzbares System in der Hydrologie und verwandten Wissenschaften, bei dem oberflächlich abfließendes Wasser aufgrund der Reliefbedingungen einem Punkt, dem EZG-Auslass zufließt. Kann über das Relief abgeleitet werden.
Erosionswiderstand	Der Erosionswiderstand beschreibt die Summe aller Kräfte (Kohäsion, Adhäsion, Reibung, Erdanziehung), die die Einzelpartikel in ihrer Lage festhalten. Da der Erosionswiderstand eines Bodens von einer Vielzahl von physikalisch-chemischen Bodeneigenschaften (Textur, Aggregatstabilität, Corg-Gehalt, Wurzeldichte, Gefügestruktur, Bodenbedeckung) abhängig ist, unterliegt er einer hohen räumlichen und zeitlichen Dynamik. Neben der Bodenart sind besonders die Kohäsion der Bodenpartikel untereinander und die Schwerkraft entscheidend. Da die Kohäsion mit sinkendem und die Schwerkraft mit wachsendem Partikeldurchmesser zunehmen, sind Schluff- und Feinsandböden leichter erodierbar als Ton bzw. Sand- und Kiesböden (SCHMIDT 1996, MICHAEL 2000). Eine instabile Gefügestruktur, hervorgerufen durch sehr feine Saatbettbereitung und geringe Gehalte an organischem Kohlenstoff, führt zu einer Verringerung des Erosionswiderstandes. Aus diesem Grund sind besonders Böden unter konventioneller Bearbeitung erosionsanfälliger als solche unter konservierender Bearbeitung und Direktsaat.
Feldblock	Als Feldblock wird eine räumlich abgegrenzte landwirtschaftliche Nutzungseinheit verstanden, in dem sich ein oder mehrere Schläge befinden können.
Geo-Basisdaten	Sind amtliche Geodaten, welche die Landschaft, die Grundstücke und die Gebäude anwendungsneutral beschreiben. In der vorliegenden Studie handelt es sich hierbei um Landnutzungs-, Boden- und Reliefdaten.
Gewässerkennzahl	Eineindeutige Kodierung eines Fließgewässers durch die LAWA (1978) um hierarchische Beziehung der Gewässer untereinander ableiten zu können.

Impulsstrom	In der vorliegenden Arbeit wird der Impulsstrom als Maß für die Flüssigkeitskräfte verstanden, die bei Überströmung der Bodenoberfläche und dem Aufprall der Tropfen entstehen (SCHMIDT 1988). Die Impulsströme können aus der Strömungsgeschwindigkeit, der Flüssigkeitsdichte und dem Volumenstrom bestimmt werden.
Kalibrierung	Anpassung eines Modells an die gemessenen Abflussdaten.
Makroporen	Poren >50 µm, die vorrangig durch biogene Aktivität entstehen. Es handelt sich um Wurzelröhren und Regenwurmgänge, die bei terrestrischen Böden wasserfrei sind und beim Auftreten von Oberflächenabfluss von Wasserüberstau auf der Bodenoberfläche in größere Tiefen abführen können.
Oberflächenabfluss	Niederschlagswasser, das nicht in den Boden infiltrieren kann und auf der Bodenoberfläche abfließt.
Oberflächenrauigkeit	Die Rauigkeit einer Bodenoberfläche beschreibt die Minderung der Fließgeschwindigkeit durch Strömungshindernisse im Bereich des Mikroreliefs (SCHMIDT 1996, MICHAEL 2000). Eine erhöhte Rauigkeit führt zur Verringerung der Fließgeschwindigkeit und somit zur Abnahme des strömungsimmanenten Impulsstromes und folglich zur Abnahme der Erosionswirkung des Oberflächenabflusses. Die Rauigkeit ist zeitlich und räumlich hoch variabel und wird bestimmt durch die Größe der Bodenaggregate und durch Art und Struktur der Bodenbedeckung. Demzufolge weisen sehr feine frisch bearbeitete Böden ohne Mulchauflagen die geringsten und voll entwickelte Pflanzenbestände und Grünbrachen die höchsten Rauigkeitsbeiwerte auf.
Off-Site-Schäden	Bodenerosion beeinträchtigt nicht nur die unmittelbar den Bodenumlagerungen ausgesetzten Ackerflächen, sondern kann als Off-Site-Schäden auch angrenzende Ökosysteme (Talauen und Flusssysteme) durch den Eintrag von Nähr- und Schadstoffen nachhaltig beeinträchtigen.
On-Site-Schäden	Unter On-Site-Schäden versteht man alle Schäden, die direkt am Ort des Bodenabtrags entstehen. Kurzfristig führen sie durch freigespültes Saatgut oder Bedeckung der Feldfrüchte mit Bodenmaterial zu Ertragseinbußen. Langfristig tritt durch Verkürzung der Bodenprofile und dem Austrag von Feinboden ein nachhaltiger Verlust der Bodenfruchtbarkeit auf.

Parametrisierung	In der Modellierung bezeichnet Parametrisierung die Vergabe numerischer Eigenschaften an prozessspezifisch gleich reagierende Raumeinheiten, Teil- oder Gesamtsysteme.
Pedotransferfunktion	Mathematische Funktionen, die den Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Wasserspannung eines Bodens über die Körnung, Lagerungsdichte und z. T. organische Substanz ableiten.
Parzelle	Untersuchungsfläche für Beregnungsversuche
Skinfaktor	Auch als Korrekturfaktor bezeichnet, korrigiert die berechnete Infiltrationsrate in Abhängigkeit der Bodenart, des Bodenzustands, der Bodennutzung und der Bodenbearbeitung.
Splash	Bezeichnet den Aufprall des Regentropfens und die Ablösung von Bodenpartikeln durch die freigesetzte Energie.
Transportkapazität	Bei Überströmung einer geneigten Oberfläche wird der Feststofftransport zunächst durch die Menge der unter den gegebenen Bedingungen je Zeit und Flächeneinheit ablösbaren Partikel bestimmt. Mit zunehmender Lauf- länge ist jedoch nicht mehr die Menge der ablösbaren Partikel, sondern die von den Strömungsparametern abhängige Transportkapazität maßgebend. Die Transportkapazität beschreibt die Grenzkonzentration an Feststoffen, die in einer turbulenten Strömung transportiert werden können.
Validierung	Prüfung der Modellgenauigkeit/Modellgüte mit Hilfe von Referenzwerten; In der vorliegenden Studie wird eine neue Methode zur Bestimmung von Erosionswiderständen auf Flächen des Bodenerosionsmessprogramms Sachsen validiert.
Verschlämmung	Ist der Prozess, bei dem durch Splash (s. o.) Bodenpartikel aus dem Bodenverband gelöst werden, sich einregeln und die Bodenporen verstopfen. Die Verschlämmungsschichten sind wenige Millimeter stark und führen durch stark verringerte gesättigte hydraulische Leitfähigkeiten zu erhöhtem Oberflächenabfluss. Die Ausbildung solcher Schichten ist abhängig von der Bodenart, der Bodenbedeckung und der Niederschlagsintensität.

9 Abkürzungsverzeichnis

ATKIS-DGM	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem Digitales Geländemodell
ATKIS-DLM	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem Digitales Landschaftsmodell
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BSA	Bodenatlas Sachsen
BTLNK	Biotoptypen- und Landnutzungskartierung
BÜK200	Bodenübersichtskarte
C _{org}	Gehalt an organischem Kohlenstoff [%]
DPROC	Datenbankprozessor
DPROC-DB	Parameterdatenbank des Datenbankprozessors
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfond für die Entwicklung des ländlichen Raums
EU-WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
EZG	Einzugsgebiet
FLIK	Flächenidentifizierungskode
GKZ	Gewässerkennzahl nach LAWA 1978
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungsauswertungen
PKS	Parameterkatalog Sachsen
PTF	Pedotransferfunktion
UL	Umweltgerechte Landwirtschaft
ZFII	Zusatzförderung II

10 Anhang

Tabelle A 1: Gelöschte ATKIS-DLM-Objektgruppen

ATKIS ID	ATKIS TEXT
2101	Ortslage
3202	Seilbahn
3513	Tunnel
3517	Schutzgalerie
3531	Freileitung
3532	Rohrleitung
4111	Nasser Boden
6102	Höhenlinie
6103	Kammlinie
6104	Tallinie
6105	Kuppe
6106	Mulde
6107	Sattel
6108	Aussparungsfläche
6208	Einschnitt
6211	Felsen, Felsblock, Felsnadel,
6212	Doline, Erdfall, Pinge
6213	Gletscherspalte
7101	Verwaltungseinheit
7102	Sitz der Verwaltung
7201	Landschaft
7202	Kleinräumiger Landschaftsteil
7211	Insel
7299	Grenze
7301	Nationalpark
7302	Naturschutzgebiet
7303	Geschützter Landschaftsbestandteil
7304	Landschaftsschutzgebiet
7305	Naturpark
7306	Biosphärenreservat
7307	Vogelschutzgebiet
7311	Wasserschutzgebiet, Heilquellenschutzgebiet
7312	Lärmschutzbereich
7401	Bodenbewegungsgebiet
7402	Bruchfeld
7403	Truppenübungsplatz, Standortübungsplatz
7404	Überschwemmungsgebiet
7405	Testgelände
7406	Polder

Tabelle A 2: Änderung der Skinfaktoren für konventionelle Bodenbearbeitung (Winterweizen, Ut4)

Entwicklungszustand	Bodenzustand	Feuchtestufe	Skinfaktor alt I-	Skinfaktor
Saatbett	normal	trocken	1.2	0.05
		normal	1.2	0.21
		feucht	1.2	0.34
	gelockert	trocken	0.2	0.02
		normal	0.2	0.04
		feucht	0.2	0.06
	verschlämmt	trocken	0.5	0.02
		normal	0.5	0.04
		feucht	0.5	0.06
verdichtet	trocken	1.5	1	
	normal	1.5	4.1	
	feucht	1.5	4.9	
2-4 Blattstadium	normal	trocken	2.5	0.1
		normal	2.5	0.84
		feucht	2.5	1.26
	gelockert	trocken	0.2	0.05
		normal	0.2	0.14
		feucht	0.2	0.2
	verschlämmt	trocken	0.4	0.05
		normal	0.4	0.6
		feucht	0.4	1
	verdichtet	trocken	0.4	0.5
		normal	0.4	4.2
		feucht	0.4	12
Bestockung/Schossen	normal	trocken	3.7	0.02
		normal	3.7	0.3
		feucht	3.7	0.6
	gelockert	trocken	0.15	0.03
		normal	0.15	0.065
		feucht	0.15	0.5
	verschlämmt	trocken	0.1	0.03
		normal	0.1	0.065
		feucht	0.1	0.5
	verdichtet	trocken	0.1	0.02
		normal	0.1	2.2
		feucht	0.1	10

geschätzt
 gemessen

Tabelle A 3: Änderung der Erosionswiderstände für konventionelle Bodenbearbeitung (Winterweizen, Ut4)

Entwicklungszustand	Bodenzustand	Erosionswiderstand alt [N/m ²]	Erosionswiderstand neu [N/m ²]
Saatbett	normal	0.00021	0.00021
	gelockert	0.00021	0.00008
	verschlämmt	0.00021	0.00007
	verdichtet	0.00021	0.00032
2-4 Blattstadium	normal	0.0006	0.00065
	gelockert	0.0006	0.0009
	verschlämmt	0.0006	0.00007
	verdichtet	0.0006	0.00032
Bestockung/Schossen	normal	0.0007	0.001
	gelockert	0.0007	0.001
	verschlämmt	0.0007	0.00085
	verdichtet	0.0007	0.001

geschätzt
 gemessen

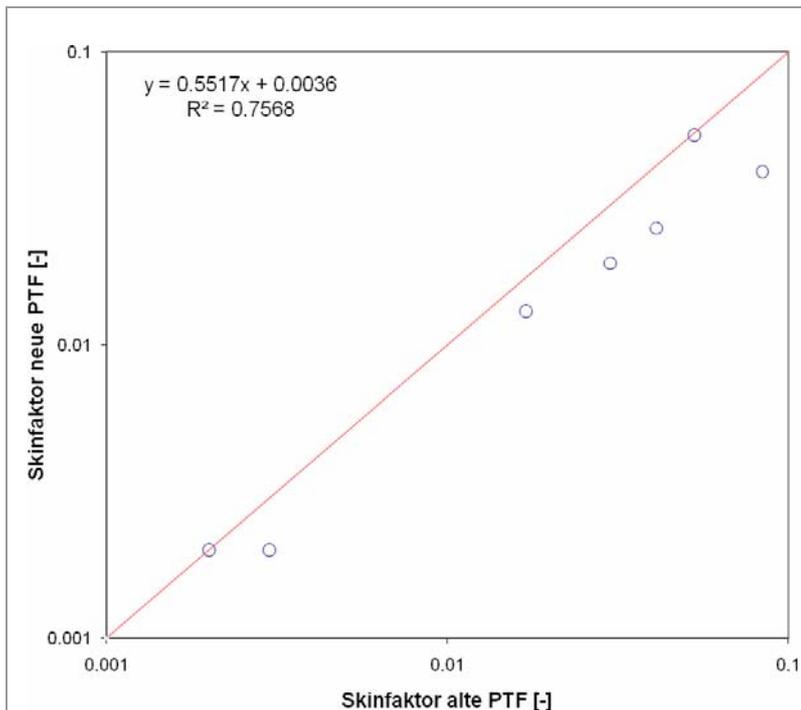


Abbildung A 1: Zusammenhang zwischen Skinfaktoren, die auf ursprünglichen und korrigierten Infiltrationsalgorithmen basieren für die Klasse 0.001 - 0.1 (n = 7)

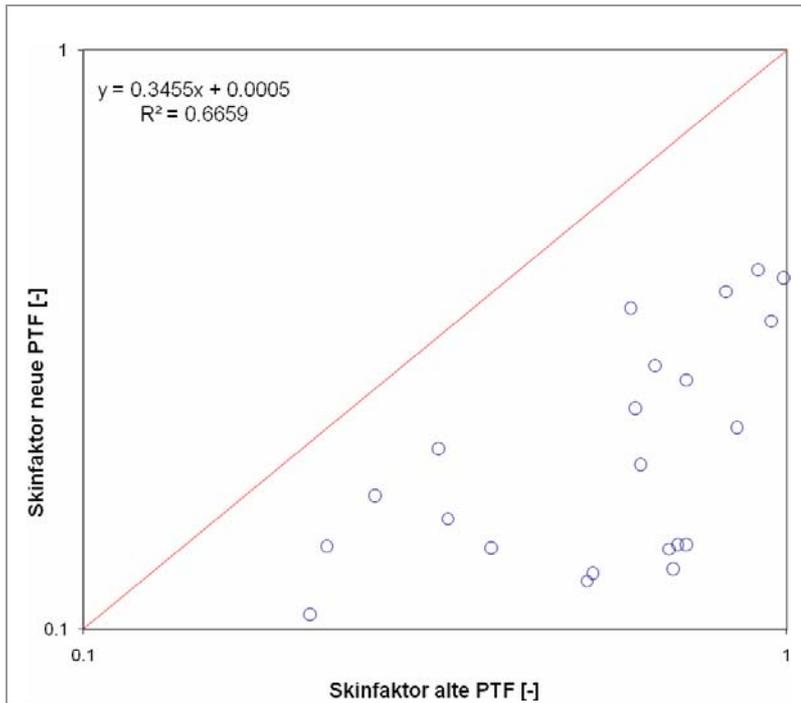


Abbildung A 2: Zusammenhang zwischen Skinfaktoren, die auf ursprünglichen und korrigierten Infiltrationsalgorithmen basieren für die Klasse 0.1-1 (n=34)

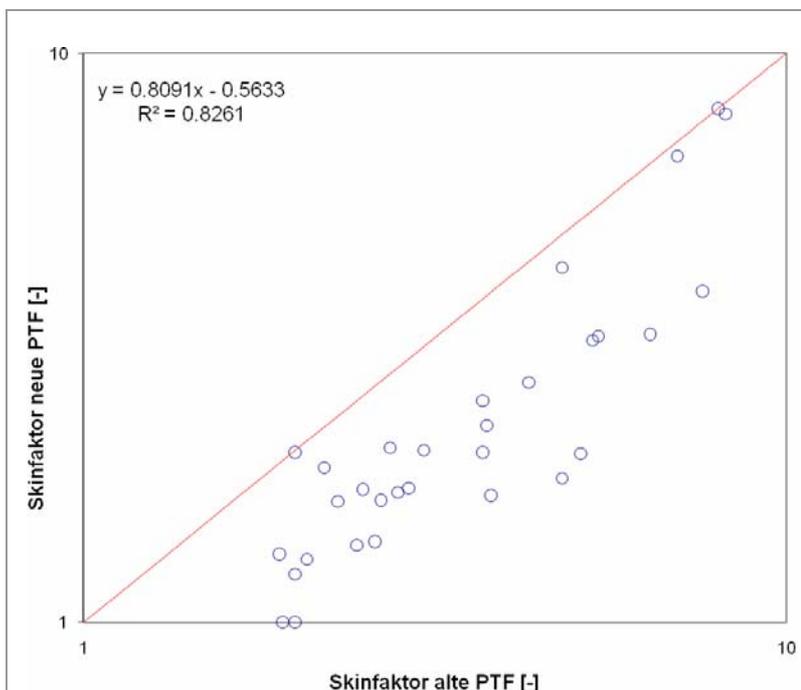


Abbildung A 3: Zusammenhang zwischen Skinfaktoren, die auf ursprünglichen und korrigierten Infiltrationsalgorithmen basieren für die Klasse 1 - 10 (n = 59)

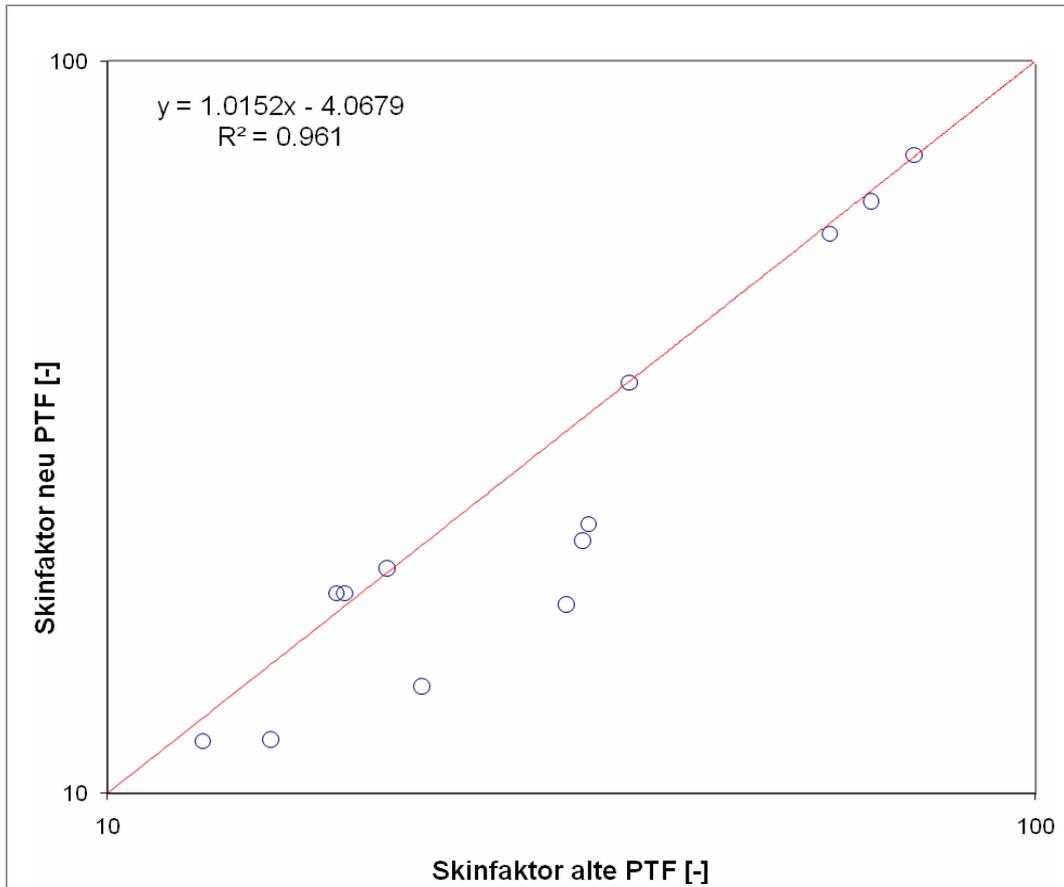


Abbildung A 4: Zusammenhang zwischen Skinfaktoren, die auf ursprünglichen und korrigierten Infiltrationsalgorithmen basieren für die Klasse 10 - 100 (n = 18)

Tabelle A 4: Statistische Auswertung der von Deposition gefährdeten Ackerlandfeldblöcke der Bodenregionen (sortiert nach anteiliger Depositionsgefährdung der Ackerlandfeldblöcke)

Bodenregion	Fläche [km²]	Fläche [%]	Minimum [kg/m²]	Mittelwert [kg/m²]	Stabw
Thüringer Schiefergebirge	0,2	4,4	14,8	3,0	2,9
Zittauer Gebirge	0,0	5,3	59,8	38,8	27,0
Vor erzgebirgisches Becken	27,4	7,5	204,7	5,2	8,5
Mulde-Lösshügelland	71,5	8,3	216,0	9,0	10,2
Untere und mittlere Lagen des Erzgebirges	75,4	8,4	139,5	3,4	5,8
Mittelsächsisches Lösshügelland	42,7	8,4	205,0	11,5	11,8
Elstergebirge	9,9	8,4	82,7	2,3	4,2
Obere Lagen und Kamm des Erzgebirges	7,9	8,4	58,2	2,9	4,8
Oberlausitzer Lösshügelland	38,0	9,2	238,7	9,9	14,5
Elbsandsteingebirge	7,7	9,9	146,0	10,4	14,3
Oberlausitzer Bergland	10,8	10,0	314,9	13,5	18,7
Nordsächsisches Lössstiefland	60,7	10,9	96,6	2,0	2,6
Vogtländisches Kuppenland	27,0	11,1	60,2	2,0	3,6
Weissenfeller Lösshügelland	2,1	11,9	67,1	4,4	6,3
Westlausitzer Lösshügelland	41,4	12,3	250,2	6,8	12,4
Bautzener Lösshügelland	35,7	12,5	446,0	11,7	15,0
Brambacher Zipfel	0,2	12,6	12,3	4,0	4,1
Halleschener Lösshügelland	3,5	12,6	108,8	1,6	2,6
Leipziger Lössstiefland	97,3	12,8	47,3	1,8	2,4
Dresdener Elbtalweitung	9,0	13,6	134,2	7,7	14,9
Riesa-Torgauer Elbtal	39,2	15,8	51,2	2,4	3,3
Elsterwerda-Herzberger-Elsterniederung	12,8	16,7	10,0	0,6	1,2
Dübener-Dahlener Heide	66,5	17,2	65,3	0,6	1,3
Grossenhainer Lössstiefland	54,5	17,9	50,2	1,4	2,6
Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet	64,2	20,0	56,9	1,0	3,4
Senftenberger Heide- und Seengebiet	4,6	20,7	2,0	0,0	0,1
Muskauer Heide	10,4	21,6	13,2	0,1	0,6
Königsbrücker Heide	24,4	29,0	17,4	0,2	0,8
Niederlausitzer Grenzwall	5,5	29,6	3,8	0,3	0,7
Zeitz-Altenburger-Lösshügelland	40,9	57,5	50,6	10,6	10,6

10-jähriges Niederschlagsereignis im Monat Mai

Tabelle A 5: Vorgefertigtes Geo-Basisraster

Datei	Überlagerung	Information/Übersetzung	Filter
In_worst.asc	d1m_lin.asc d1m_pol_sb.asc	ATKIS-DLM-Linien/ Voreinstellung ATKIS-DLM-Ploygone/ Acker = Saatbett	Wege -
In_1st.asc	d1m_lin.asc Invekos.asc d1m_pol.asc	ATKIS-DLM-Linien/ Voreinstellung InVeKoS-Feldblöcke 2006/ Voreinstellung ATKIS-DLM-Ploygone/ Voreinstellung	Wege - -
boart_asc.asc	-	Bodenart nach BSA/ Voreinstellung	Voreinstellung
2006_mg_50.asc	-	kons. bearbeitete Flächen 2006 (50% beantragte Mulchsaat zur dominanten Kultur)	-
2006_cov_50.asc	-	Bodenbedeckung 30% für kons. bearbeitete Flächen 2006 (s.o.)	-
rain.asc	-	Niederschlagsregionen nach PKS 1996	-
relief.asc	-	DGM 25 mit eingebranntem Gewässernetz	-

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Technische Universität Bergakademie Freiberg
AG Boden- und Gewässerschutz
Marcus Schindewolf
Agricolastr. 22, 09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 39-2679
Telefax: +49 3731 39-2502
E-Mail: marcus.schindewolf@tbt.tu-freiberg.de

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Referat Bodenkultur
Dr. Walter Schmidt
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Telefon: +49 341 9174-116
Telefax: +49 341 9174-111
E-Mail: walter.schmidt@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

15.04.2010

ISSN:

1867-2868

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.