



SACHSEN-ANHALT

Landesanstalt für
Landwirtschaft und
Gartenbau

Risikoanalyse und Empfehlungen für Grundsätze der Maßnahmenplanung für die Starkregen- Gefahrenvorsorge im ländlichen Raum

Pilotstudie für Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf



Schriftenreihe der LLG, Heft 1/2021

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2	Datengrundlagen und Aufbereitung DGM	5
3	Festlegung des Untersuchungsgebietes	6
4	Grundlagenermittlung	7
4.1	Reliefanalyse und Ausweisung der Teileinzugsgebiete und Hotspots	7
4.2	Grunddatenermittlung Bewirtschaftung, Boden und Landeskultur	10
4.3	Niederschlagsanalyse und Definition Modellregen	12
4.4	Festlegung von Berechnungsszenarien	15
4.5	Ganzheitlicher Modellansatz und Parametrisierung/ Modellierung Oberflächenabfluss	16
4.6	Parametrisierung und Modellierung Bodenabtrag und Sedimentfracht	22
5	Ergebnisse	27
6	Grundsätze für die Erarbeitung eines abgestimmtes Maßnahmenkonzeptes	36
8	Flächenmobilisierung und -sicherstellung zur Umsetzung der notwendigen Vorsorgemaßnahmen	39
9	Literatur	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abgrenzung des Untersuchungsraumes	6
Abbildung 2:	Potenzielle Abflussbahnen und kumulatives Einzugsgebiet der Rasterzellen	7
Abbildung 3:	Auswertung von historischen Karten und Luftbildern zur Lage von ehemaligen landschaftsstrukturellen Elementen	8
Abbildung 4:	SENTINEL-2-Aufnahme vom 27.05.2017	9
Abbildung 5:	Teileinzugsgebiete und Hotspots/Knoten im Untersuchungsgebiet	9
Abbildung 6:	In Abflussbahn gelegenes Landschaftselement (Gehölz)	11
Abbildung 7:	Verwallung zwischen zwei Feldblöcken	11
Abbildung 8:	Drohnenaufnahme nach dem Erosionsereignis vom 19.5.2017	12
Abbildung 9:	Verlauf des Niederschlages am 19.05.2017 (Station Bad Bibra-Altenroda)	13
Abbildung 10:	Mit RADOLAN erfasste Niederschlagssummen für den 19.05.2017	13
Abbildung 11:	Verlauf des Modellregens nach EULER Typ 2 und des Realereignisses vom 19.05.2017	15
Abbildung 12:	Einfluss von Vorfeuchte des Bodens und Bedeckungsgrad auf den Abflussscheitel	16
Abbildung 13:	Schematischer Überblick über das Erosions-Flussgebiets-Modell	17
Abbildung 14:	Abflussscheitel und Dauer der Abflusswelle für ein 50-jähriges Niederschlagsereignis nach verschiedenen Verfahren	20
Abbildung 15:	Mittlerer potenzieller langjähriger Bodenabtrag (nach ABAG)	23
Abbildung 16:	Mittlerer nutzungsabhängiger langjähriger Bodenabtrag (nach ABAG)	24
Abbildung 17:	Anschlusswahrscheinlichkeiten der Ackerflächen	26
Abbildung 18:	Teileinzugsgebiete und Hotspots als Bezugsräume für die Maßnahmenwirksamkeitsanalyse (Teilgebiet Barnstädt)	28
Abbildung 19:	Teileinzugsgebiete und Hotspots als Bezugsräume für die Maßnahmenwirksamkeitsanalyse (Teilgebiet Göhritz)	30
Abbildung 20:	Teileinzugsgebiete und Hotspots als Bezugsräume für die Maßnahmenwirksamkeitsanalyse (Teilgebiet Göhrendorf)	32
Abbildung 21:	Teileinzugsgebiete und Hotspots als Bezugsräume für die Maßnahmenwirksamkeitsanalyse (Teilgebiet Nemsdorf)	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Datengrundlagen und Quellen	5
Tabelle 2:	Niederschlagssummen für ein 4-stündiges Ereignis in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit	14
Tabelle 3:	Schwellenwerte und Handlungsbedarf zum Schutz vor schädlicher Bodenveränderung	23
Tabelle 4:	Bilanzierung von Oberflächenabfluss und Sedimentfracht im Teilgebiet Barnstädt	29
Tabelle 5:	Bilanzierung von Oberflächenabfluss und Sedimentfracht im Teilgebiet Göhritz	31
Tabelle 6:	Bilanzierung von Oberflächenabfluss und Sedimentfracht im Teilgebiet Göhrendorf	33
Tabelle 7:	Bilanzierung von Oberflächenabfluss und Sedimentfracht im Teilgebiet Nemsdorf	35
Tabelle 8:	Bilanzierung Biotopausstattung im Untersuchungsgebiet	39

1 Veranlassung und Zielstellung

Heftige Starkregenereignisse und sich daraus entwickelnde Sturzfluten haben in den letzten Jahren immer öfter zu Überflutungen mit hohen Schäden geführt. Im Mai 2017 waren davon die Ortslagen Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf im Saalekreis betroffen. Infolge des Klimawandels ist nach derzeitigen Erkenntnissen davon auszugehen, dass es künftig noch häufiger zu extremen Witterungssituationen kommen wird. Um künftigen Schäden vorbeugen zu können, soll im Rahmen eines zweistufigen Pilotvorhabens am Beispiel für Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf ein Starkregenrisikomanagementkonzept zur Gefahrenvorsorge erarbeitet werden. Dieses Konzept basiert auf den Empfehlungen der „LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement“ vom Januar 2018 (LAWA 2018).

Teil 2 des Pilotvorhabens umfasst vorrangig die Erstellung eines kommunalen Starkregenrisikomanagements für die innerörtlichen Bereiche. Dem vorangestellt waren im ersten Teil der Pilotstudie die Risikoanalyse und die Erarbeitung von Grundsätzen der Maßnahmenplanung für den Außenbereich zur Verbesserung des vorsorgenden Erosionsschutzes und des Wasser- und Sedimentrückhalts in Kleineinzugsgebieten (Teil 1 Pilotvorhaben). Durch Maßnahmen der Bewirtschaftungsanpassung und der Agrarraumgestaltung soll der Aufwand zum Schutz von Ortslagen und Infrastrukturen vor Sturzfluten auf das unvermeidbare Maß reduziert werden.

Ausgehend von einer Situations- und Risikoanalyse mit Auswertung der standörtlichen Bedingungen (Geomorphologie, Böden, Bodenstruktur, Hydrologie) sowie der aktuellen Landnutzung im Kleineinzugsgebiet, war es Ziel, unter Berücksichtigung eines unvermeidbaren Restrisikos Vorschläge für Anpassungen der **Bodennutzung, Bodenbearbeitung, Schlaggestaltung und der Landeskultur** für ein Einzugsgebiet mit einer Größe von ca. 2680 ha zu erarbeiten.

Sofern sich bei der Bearbeitung Hinweise auf darüber hinausgehenden Handlungsbedarf zur gefahrlosen Abführung von überschüssigem Oberflächenwasser, zum Wasser- und Sedimentrückhalt oder zu einfachen Vorsorgemaßnahmen an Grundstücken und Gebäuden ergeben, wurden diese benannt. Dabei wurden die Empfehlungen der LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement, insbesondere die formulierten Leitfragen, berücksichtigt.

Die Untersuchungen umfassten folgende Arbeitsschwerpunkte:

- Übernahme und Auswertung vorhandener Datengrundlagen und Dokumente; Aufbereitung des Digitalen Geländemodells (DGM)
- Reliefanalyse und Ausgrenzung der (Teil-)Einzugsgebiete und Hotspots
- Grunddatenermittlung zu Boden, Bewirtschaftung und Landeskultur
- Standort- und nutzungsbedingte Situations- und Risikoanalyse der IST-Situation
 - Modellierung von Bodenabtrag/Sedimentfracht und Oberflächenabfluss
 - Herausarbeitung der Erosionsgefährdungen anhand der naturräumlichen Voraussetzungen und Bewertung der Konfliktbereiche
- Ableitung von Empfehlungen für ein abgestimmtes Maßnahmenkonzept mit geeigneten bewirtschaftungs- und landeskulturellen Maßnahmen sowie weiterführenden ingenieurtechnischen/wasserbaulichen Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserrückhaltes in der Fläche
- Eruierung von Möglichkeiten der Flächenaktivierung zur Umsetzung landeskultureller Maßnahmen außerhalb von Flurbereinigungsvorhaben

Die fachliche Umsetzung der Studie erfolgte durch das Mitteldeutsche Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz in Halle (MISB). Das Vorhaben wurde durch die Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt (LLG) beauftragt und umfasste eine Laufzeit von Mai bis November 2018. Fachlich eingebunden wurden während der Abstimmungsgespräche, Geländebegehungen und Präsentationen neben der LLG Sachsen-Anhalt, das Amt für Landwirtschaft, Flurneuordnung und Forsten Süd (ALFF Süd), die Verbandsgemeinde Weida-Land, das Umweltamt des Landkreises Saalekreis und das Agrarunternehmen Barnstädt e.G..

2 Datengrundlagen und Aufbereitung DGM

Nachfolgende Daten und Gutachten wurden für den Untersuchungsraum übernommen, geprüft und in einer einheitlichen GIS-Datenbank zur weiteren Nutzung abgelegt. Die Datenbereitstellung erfolgte durch die Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt.

Datengrundlage	Quelle
Daten des Amtlichen Liegenschaftskatasters (ALK)	Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVermGeo) [2017]
Digitale Verwaltungsgrenzen	Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVermGeo) [2017]
Digitale Feldblockgrenzen	InVekoS-Feldblock-Referenz [2017]
Digitale Landschaftselemente	InVekoS- Referenz [2017]
INVEKOS-Anbaudaten der Jahre 2015 bis 2017	InVekoS -Referenz [2017, 2016, 2015]
Digitales Geländemodell 1m-Raster (DGM1)	Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVermGeo) [2017]
Digitale topografische Karten 1:10.000	Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVermGeo) [2017]
WebAtlasDE.light	GeoBasis-DE – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) [2018]
Digitale Orthophotos 40cm-Auflösung (ATKIS-DOP 40)	Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVermGeo) [2015]
Satellitenbildaufnahmen (Jahr 2017) des SENTINEL-2-Programmes in 20m-Auflösung	http://www.sentinel-hub.com
Digitale Grenze des Verfahrensgebietes	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG) [2017]
Digitale Karten der Bodenschätzung	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) [2005]
Grablochbeschriebe und Karte der Klassenflächenzeichen	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) [2005]
Vorläufige Bodenkarte (VBK) 1:50.000 (mit/ohne Nutzungsdifferenzierung)	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) [2009]
Digitales Fließgewässernetz	Landesbetrieb für Hochwasserschutz Sachsen-Anhalt (LHW) [2017]
Niederschlagsdaten aus KOSTRA-DWD 2010	Climate Data Center Deutscher Wetterdienst (DWD) [2015]
Niederschlagszeitreihen (10-Minuten-Zeitschritte) der Stationen Bad Bibra und Querfurt	Climate Data Center Deutscher Wetterdienst (DWD) [2017]
Diverse Planungsunterlagen; Fotodokumentationen und Hinweise, Dokumentationen zu Erosionsereignissen	Agrarunternehmen Barnstädt e.G., Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG) [2017]
Preußische Messtischblätter im Maßstab 1:25.000 (Blatt Querfurt von 1941; Blatt Schafstädt von 1931)	Sächsische Landesbibliothek - Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB) [2014]

Tabelle 1: Datengrundlagen und Quellen

Die Datenauswertung umfasste die Aufbereitung des Digitalen Geländemodells im 1m-Raster (DGM1). Laserscanbasierte DGM bilden aufgrund ihrer hohen Messpunktdichte und hohen Messgenauigkeit die natürliche Rauigkeit der Erdoberfläche ab. Je nach Oberflächenbeschaffenheit kann die Rauigkeit zwischen wenigen Millimetern und mehreren Dezimetern betragen (Saatbett, gepflügter Acker). Die Rauigkeit führt zu einem Rauschen in den Höhenwerten des DGM, das sich störend auf die meisten Auswertungen aus dem DGM auswirkt. Die Aufbereitung („Entrauschen“) des DGM1 umfasste die Anwendung eines multidirektionalen Filters, der auf einer Modifikation des Filters von Lee (1980) beruht. Hierbei handelt es sich um einen Filter, der störendes Rauschen eliminiert und die unter dem Rauschen verborgene (Relief-) Information herausarbeitet. Für die weitere Projektbearbeitung erfolgte ein Resampling des DGM auf eine Rasterweite von 2 Meter mittels Bi-Spline-Interpolationsverfahren.

3 Festlegung des Untersuchungsgebietes

Im Rahmen von Voruntersuchungen wurde durch die LLG das Untersuchungsgebiet mit einer Gebietsgröße von 2680 ha festgelegt (Abbildung 1). In die Betrachtung der Abtrags- und Abflussprozesse einbezogen wurden nicht nur die betroffenen Schläge, sondern das gesamte oberirdische Wassereinzugsgebiet, einschließlich möglicher Fremdwasserzuflüsse. Die betroffenen Feldblöcke im Untersuchungsraum wurden entsprechend der Einzugsgebietsflächen angepasst. Dies erfolgte anhand der Ergebnisse der Reliefanalyse, welche die Ausweisung von Abflussbahnen, Teileinzugsgebieten und Eintrittsbereichen (Hotspots) umfasst (Kapitel 4.1).

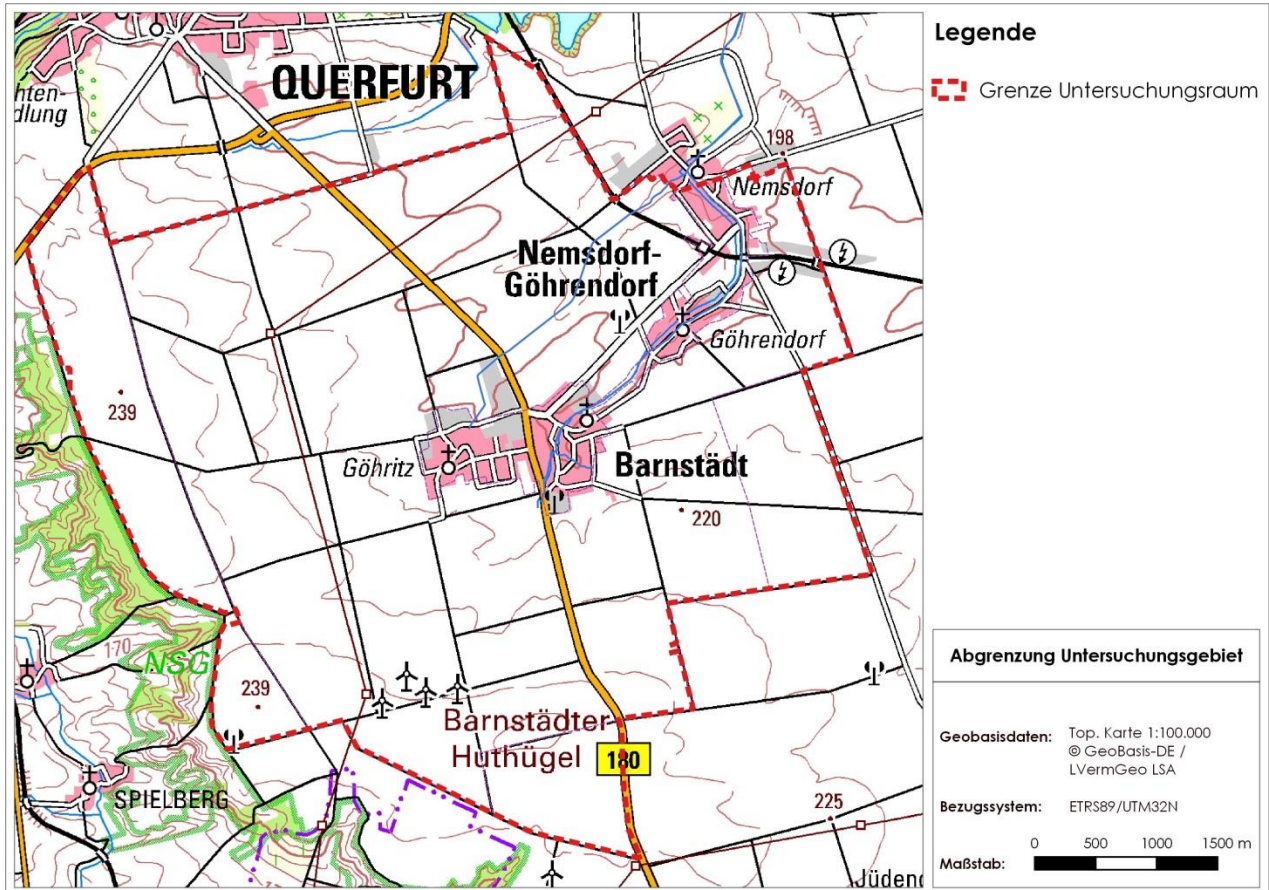


Abbildung 1: Abgrenzung des Untersuchungsraumes

4 Risikoanalyse und Grundlagenermittlung

4.1 Reliefanalyse und Ausweisung der Teileinzugsgebiete und Hotspots

Die modellbasierte Reliefanalyse dient der Ausweisung potenzieller Abflussbahnen und Fließwege im Untersuchungsgebiet auf Basis des Wassereinzugsgebietes sowie der Identifizierung und Festlegung von Eintrittsbereichen (Hotspots) in den Siedlungsraum, die Infrastruktur und Vorflutsysteme. Auf Basis des aufbereiteten DGM2 erfolgte die Berechnung des kumulativen Einzugsgebietes (oberirdisches Einzugsgebiet, von dem eine Rasterzelle Abfluss erhält), um potenzielle Abflussbahnen und Fließwege (ohne Berücksichtigung landschaftsstruktureller Elemente und der Landnutzung) ausweisen und identifizieren zu können. Die Berechnung erfolgte durch Anwendung der Software SAGA-GIS unter Verwendung eines 'Multiple-Flow-Direction'-Algorithmus nach FREEMAN (1991). In Abbildung 2 sind das kumulative Einzugsgebiet sowie die potenziellen Abflussbahnen dargestellt.

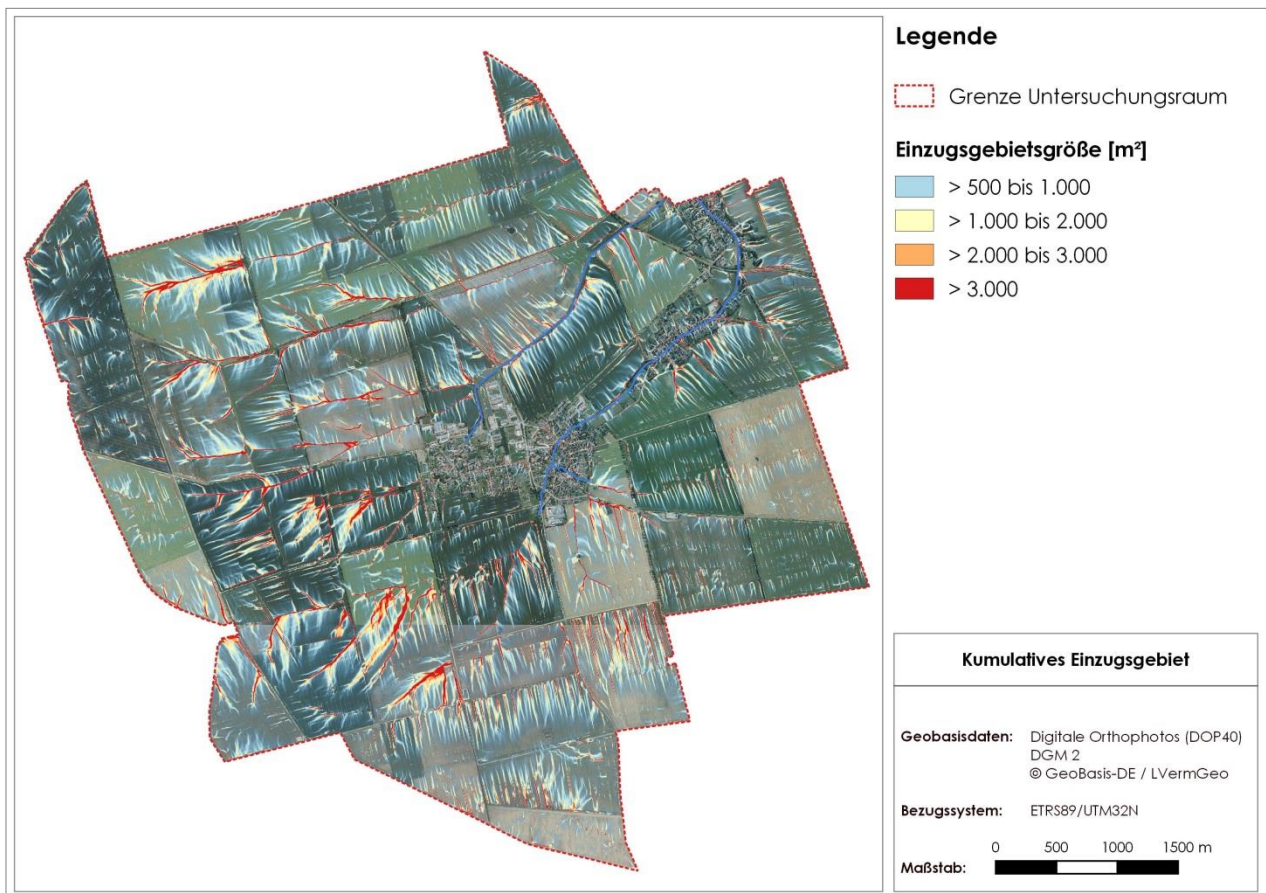


Abbildung 2: Potenzielle Abflussbahnen und kumulatives Einzugsgebiet der Rasterzellen

Im Rahmen der Geländebegehung und –kartierung erfolgte die Verifizierung der potenziellen Abflussbahnen und Übertrittsbereiche hinsichtlich ihrer realen Lage wie folgt:

- Kartierung landschaftsstruktureller Elemente (Hecken, Baumreihen, Gehölzstrukturen, Wege, Verwallungen, Gräben u. a.)
- Aufnahme von Nutzungswechseln und abflusswirksamen landschaftsstrukturellen Elementen
- Erfassung von Übertritten und Durchlässen an infrastrukturellen Anlagen
- Aufnahme möglicher Fremdwasserzuflüsse in landwirtschaftliche Flächen und Ortslage
- Bewertung und Verifizierung der aktuellen Abflussbahnen mittels Geländebegehung
- Auswertung historischer Karten zur Lage ehemaliger landschaftsstruktureller Elemente
- Fotodokumentation und Verortung der Aufnahmepunkte

Neben der Überprüfung im Gelände dient die Analyse vorhandener Luftbilder der Verifizierung und Ausgrenzung potenzieller Abflussbahnen und von Abtragsbereichen. Hierzu wurden die digitalen Orthophotos (Stand 2015) sowie die Sentinel-Daten vom Mai 2017 genutzt. Mithilfe dieser Zeitschnitte können Abtragsbereiche und Abflussbahnen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bedeckungsgrade und Anbaustrukturen identifiziert und bewertet werden. Durch die Verifizierung der Abflussbahnen und Landschaftsstrukturelemente sowie die Auswertung der Luftbilder und Karten wurden Ansatzpunkte für die Planung möglicher Erosionsschutzmaßnahmen geschaffen. Ergänzend wurden historische Messtischblätter ausgewertet, um Veränderungen in der Landschaftsstruktur als Ansatzpunkte für Maßnahmenvorschläge zu erhalten. Abbildung 3 zeigt exemplarisch den Vergleich der Agrarstruktur im Jahr 1941 (links) mit der heutigen Struktur (rechts). Anhand des Messtischblattes lassen sich heute nicht mehr vorhandene, in West-Ost-Richtung verlaufende Wegstrukturen erkennen. Im Luftbild sind diese als weiße Linie gekennzeichnet. Obwohl gegenüber der historischen Agrarraum- und Wegestruktur keine grundlegenden Veränderungen im Untersuchungsgebiet zu belegen sind, könnten solche Barrieren im Falle der Wiedereinrichtung den Sedimentrückhalt durch ihre Lage in Bezug zur erosiven Abflussbahn verbessern.

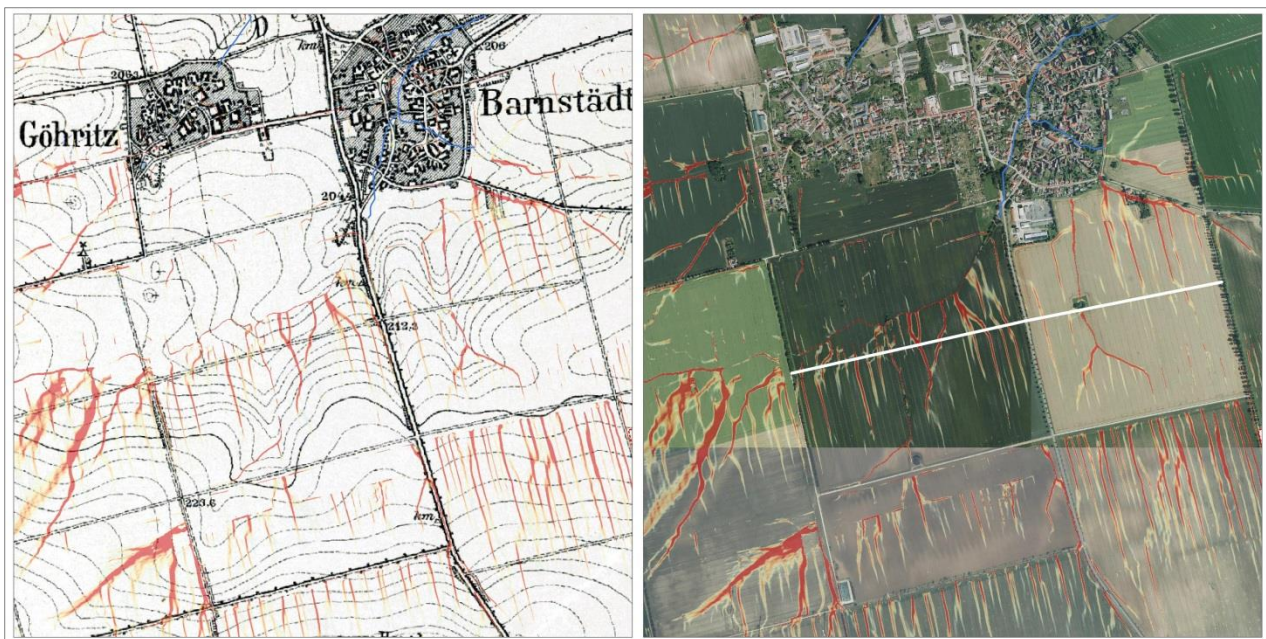


Abbildung 3: Auswertung von historischen Karten und Luftbildern zur Lage von ehemaligen landschaftsstrukturellen Elementen

Die Auswertung der SENTINEL-Aufnahmen (Abbildung 4) lässt sehr deutlich die Erosionserscheinungen, die aus dem Starkregenereignis vom 19. Mai 2017 resultieren, erkennen. Auf den weitestgehend unbedeckten landwirtschaftlichen Flächen haben sich großflächig Abtrags- und Akkumulationsbereiche gebildet. Weiterhin können die Transportwege für Sediment in Richtung der Ortslagen dokumentiert werden. Deutlich erkennbar ist auch die Retentionswirkung der mit Wintergetreide bestandenen Flächen westlich von Barnstädt. Hieraus lassen sich Ansätze für die Planung und Wirkung von Minderungsmaßnahmen, zum Beispiel durch Schlaguntergliederungen mit Fruchtartenwechsel zur Verkürzung der erosiven Hanglänge ableiten.

Auf Basis der Reliefanalyse sowie der Luftbild- und Gelände-Verifizierung erfolgte die Festlegung der Knotenpunkte, Eintrittsbereiche/Hotspots und der zugehörigen Teileinzugsgebiete unter Berücksichtigung möglicher Fremdwasserzuflüsse (Abbildung 5). Die Ausweisung der Teileinzugsgebiete dient der Erstellung von Modellgebieten für die Berechnung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag.



Abbildung 4: SENTINEL-2-Aufnahme vom 27.05.2017

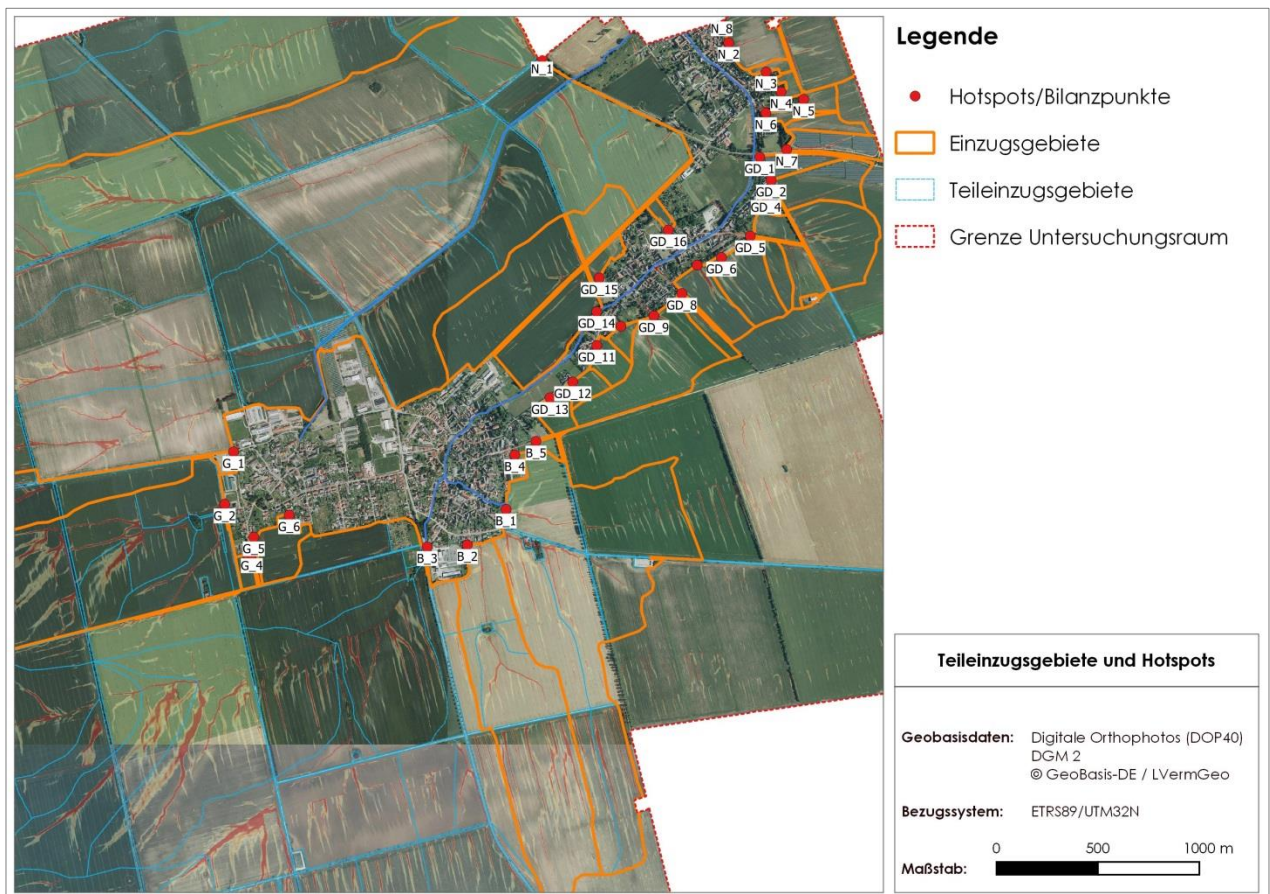


Abbildung 5: Teileinzugsgebiete und Hotspots/Knoten im Untersuchungsgebiet

4.2 Grunddatenermittlung Bewirtschaftung, Boden und Landeskultur

Die vorgenommene Erfassung und Auswertung der aktuellen Bodenverhältnisse, der Bewirtschaftungseigenschaften sowie der Landschafts- und Nutzungsstrukturen im Untersuchungsgebiet dient vorrangig der Analyse der Ist-Situation und stellt gleichzeitig eine erste Grundlage dar, um die Machbarkeit von einzelnen Maßnahmenvorschlägen aufgrund der Gebietscharakteristik und Bewirtschaftungsstrukturen einschätzen zu können. Zusätzlich dienen die aufgenommenen Boden- und Bewirtschaftungsdaten als Inputparameter für die anzuwendenden Simulationsmodelle.

Bodenverhältnisse und Bodengefüge

Als Grundlage für eine großmaßstäbige Ausgrenzung und Parametrisierung der Bodeneigenschaften ist eine Überprüfung der Bodenverhältnisse und Bewertung des Bodengefüges im Gelände notwendig. Da die standortspezifische Konkretisierung und Ableitung der wesentlichen Bodenmerkmale im Mittelpunkt des Vergleiches steht, erfolgte dieser an den dominierenden Grablöchern der Bodenschätzung, was eine Maßstabsebene von ca. 1:5.000 zulässt und somit die notwendige räumliche Auflösung sowohl für die Ableitung der Bodenerodibilität als auch der Modellierung des Oberflächenwasserabflusses gewährleistet. Für die Geländeüberprüfung ausgewählt wurden:

- repräsentative Standorte hinsichtlich Bodeneigenschaften, Relief, Bodenbewirtschaftung und Bodenbedeckung,
- Standorte mit hoher Bedeutung für den Bodenabtrag und Oberflächenabfluss

Im Feld wurde an ausgewählten Standorten eine bodenkundliche Ansprache entsprechend der Vorgaben der KA5 (AG BODEN 2005) durchgeführt.

Auf Basis dieser Daten wurden GIS-Datensätze für die Bodenart, den Grobboden, die Lagerungsdichte des Oberbodens sowie den Humusgehalt und die Bodenformen erstellt. Diese Daten bildeten die Grundlage für die hoch auflösende Berechnung des K-Faktors (nach Gleichung 3 der DIN 19708 (DIN 2017) sowie die Ableitung der bodenphysikalischen Kennwerte (Tabellenwerte nach KA5 (AG BODEN 2005) modifiziert nach SCHREY (2008) und SCHINDLER (2004)) zur Parametrisierung des Oberflächenwasserabflussmodells.

Bewirtschaftungsverhältnisse

Die Ausgrenzung der Flächenbewirtschafteter basiert auf den Angaben der im Gebiet wirtschaftenden Landwirtschaftsbetriebe im Antragsdatensatz. Aus diesem wurden ebenfalls die parzellenbezogenen Fruchtfolgen des Jahres 2017 entnommen und die Bodenbearbeitungssysteme abgeleitet.

Aufnahme landeskultureller Elemente und Ausgrenzung potenzieller Maßnahmenräume

Die Aufnahme landeskultureller Elemente erfolgte im Zusammenhang mit der Verifizierung der ausgewiesenen Abflussbahnen und Übertrittsbereiche (Kapitel 4.1). Es wurden Nutzungswechsel und Elemente (Hecken, Baumreihen, Wege, Gräben, Verwallungen u. a.) kartiert, photographisch aufgenommen, in das GIS-System eingearbeitet und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit auf das Erosions- und Abflussgeschehen bewertet. Hierbei stand insbesondere die Durchlässigkeit bzw. das Retentionsvermögen von Strukturelementen gegenüber transportiertem Sedimentmaterial im Vordergrund (Beispiele in Abbildungen 6 und 7).



Abbildung 6: In Abflussbahn gelegenes Landschaftselement (Gehölz)



Abbildung 7: Verwallung zwischen zwei Feldblöcken

Anhand vorliegender Dokumente zu vorangegangenen Erosions- und Sturzflutereignissen erfolgte die Identifizierung der Lage von dokumentierten Abtrags- und Übertrittsbereichen. Diese bilden gemeinsam mit den Ergebnissen der Aufnahme landeskultureller Elemente die Grundlage für eine mögliche Ausgrenzung potenzieller Räume für Maßnahmenplanungen. Abbildung 8 zeigt exemplarisch eine Drohnenaufnahme nach dem Erosionsereignis vom 19. Mai 2017. Sichtbar sind die in Richtung der Ortslage Barnstädt verlaufenden Abfluss- und Sedimenttransportbahnen. Deutlich erkennbar ist auch die Retentionswirkung des im Schlag gelegenen und in Abbildung 6 dargestellten Gehölzelementes.



Abbildung 8: Drohnenaufnahme nach dem Erosionsereignis vom 19.5.2017 (Quelle: Mitteldeutscher Rundfunk)

4.3 Niederschlagsanalyse und Definition Modellregen

Die Niederschlagsanalyse umfasste folgende Arbeitsschritte:

- Stationsauswahl und Analyse der Niederschläge vom 19. Mai 2017
- Auswertung von Niederschlagsradardaten vom 19. Mai 2017
- Auswertung der extremwertstatistisch ermittelten Starkniederschlagshöhen aus dem KOSTRA-Atlas des DWD (DWD CLIMATE DATA CENTER 2015)
- Erstellung eines Modellregens nach Verfahren EULER Typ 2 für verschiedene Wiederkehrzeiten
- Festlegung einer Wiederkehrzeit als Bemessungsgrundlage für die Simulation des Oberflächenabflusses

Für die Auswertung des Niederschlagsverlaufes wurden die 10-minütigen Niederschlagsdaten der nächstgelegenen DWD-Station Bad Bibra-Altenroda ausgewertet. Die Auswertung bildet eine Entscheidungsgrundlage für die Festlegung einer definierten Wiederkehrzeit als Bemessungsgrundlage für die Simulation des Oberflächenabflusses. Aufgrund der Entfernung von 11 km sind die Erkenntnisse nur eingeschränkt für den Untersuchungsraum gültig und wurden durch die Auswertung von Radaraufzeichnungen untersetzt. Am 19. Mai 2017 fielen innerhalb von 1 Stunde und 45 Minuten 39 mm Niederschlag (Abbildung 9). KOSTRA-DWD 2010 weist für dieses Ereignis eine Jährlichkeit zwischen 10 und 20 Jahren aus. 35 mm Niederschlag fielen innerhalb eines nur 35-minütigen Zeitraumes zwischen 18:15 und 18:50. Die separate Betrachtung dieser Zeitspanne ergibt eine Jährlichkeit von über 50 Jahren.

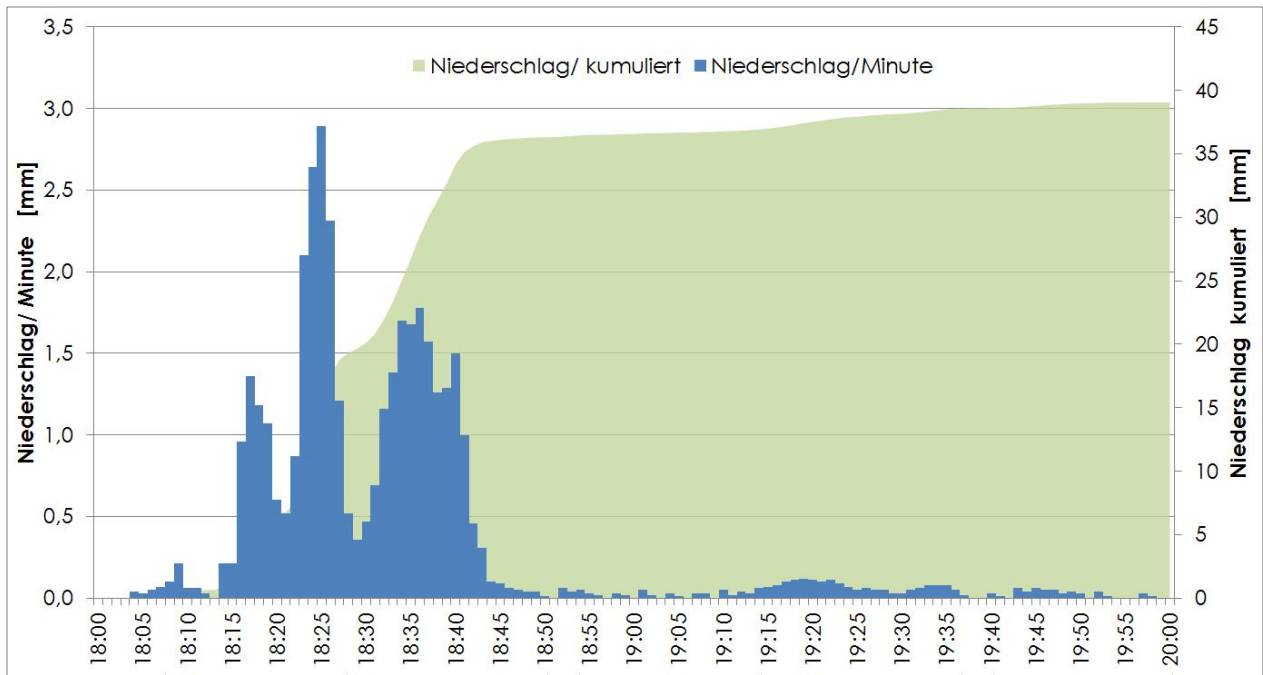


Abbildung 9: Verlauf des Niederschlages am 19.05.2017 (Station Bad Bibra-Altenroda)

Anhand der Auswertung der RADOLAN-Aufzeichnungen (Radar-Online-Aneichung) des DWD können die Daten an der Station Bad Bibra-Altenroda auch für den Untersuchungsraum bestätigt werden (Abbildung 10). Die Radarwerte ergeben Niederschlagssummen zwischen 25 und 36 mm, wobei das Maximum südlich von Barnstädt auftrat. Einzelne Starkregenzellen zeigen Intensitäten von bis zu 3mm/Minute.

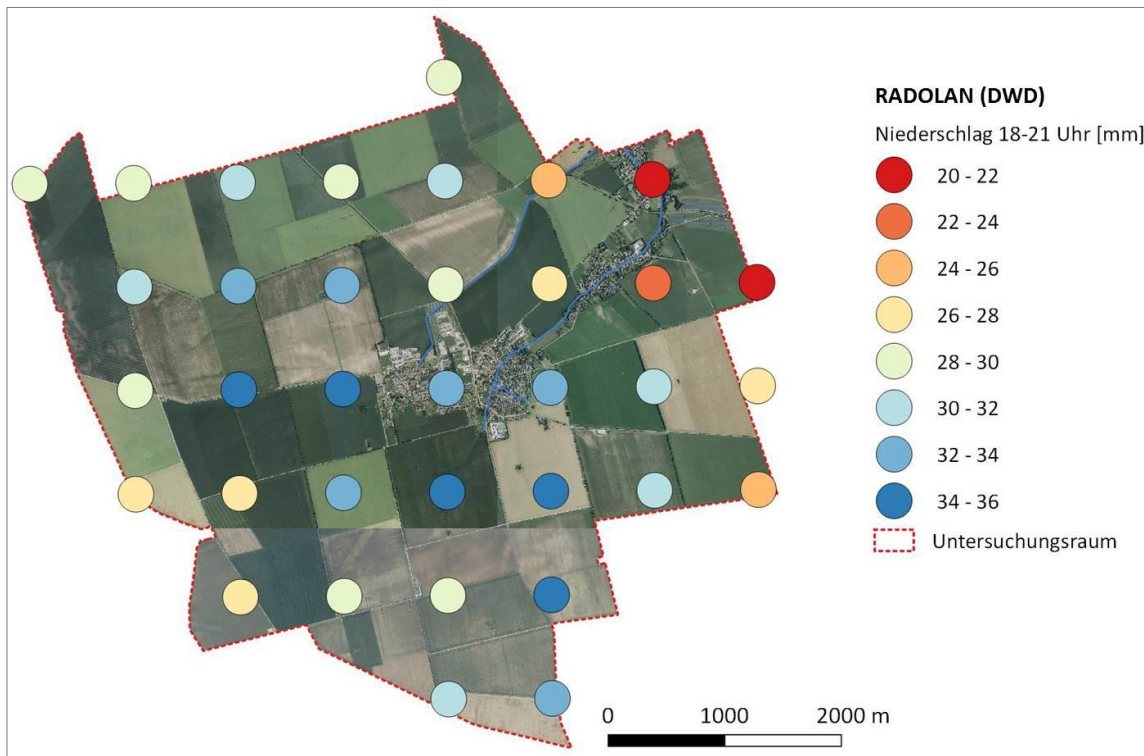


Abbildung 10: Mit RADOLAN erfasste Niederschlagssummen für den 19.05.2017

Die Simulation von Bodenabtrag und Oberflächenabfluss für das Untersuchungsgebiet sowie die Analyse der Maßnahmenwirksamkeit erfordert die Erstellung eines Modellregens für eine definierte Andauer (D) und Wiederkehrzeit (T). Hierzu erfolgte zunächst die Auswertung der extremwertstatistisch ermittelten Starkniederschlagshöhen aus dem KOSTRA-Atlas des DWD für die Rasterfelder 51/48 und 51/49. Die Andauer des Modellregens (4 Stunden) vermittelt zwischen kurzen konvektiven Ereignissen und lang andauernden Regen (stratiforme Ereignisse). Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Niederschlagssummen eines 4-stündigen Ereignisses in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit nach KOSTRA-DWD 2010.

Wiederkehrzeit (T) [Jahre]	Niederschlagssumme [mm]
1,0	20,2
2,0	26,5
5,0	35,0
10,0	41,4
20,0	47,7
50,0	56,1
100,0	62,5

Tabelle 2: Mittlere Niederschlagssummen für ein 4-stündiges Ereignis in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit (nach KOSTRA DWD-2010, Rasterfelder 51/48 und 51/49)

Bei einem **Modellregen** handelt es sich um einen intensitätsvariablen Regen. Der am weitesten verbreitete Ansatz ist der Einzelmodellregen nach EULER Typ 2, dessen Intensitätsmaximum am Ende des ersten Drittels der Gesamtdauer liegt (DWA 2006). Beim Modellregen nach EULER Typ 2 wird der Zeitpunkt für den Beginn des Regenintervalls mit der höchsten Niederschlagsintensität beim 0,3-fachen der Modellregendauer festgelegt und auf ein Vielfaches von 5 Minuten abgerundet. Daran schließen sich auf der Zeitachse nach links die nächstniedrigeren Intervalle an, bis der Zeitpunkt $t = 0$ erreicht ist. Die weiteren Regenintervalle folgen auf der Zeitachse nach rechts im Anschluss an das Spitzenintervall und füllen den Zeitraum bis zum Modellregenende auf (DWA 2006). Für die hier durchgeführten Untersuchungen erweist sich die Verwendung eines Modellregens nach EULER Typ 2 als praktikabel, da im EULER-Regen mittlerer Andauer auch Regenmengen kürzerer Dauern impliziert sind (MÖLLER UND THIELE 2014). Die Modellregen wurden für eine Wiederkehrzeit von 50 Jahren erstellt. Der Modellregen wurde hinsichtlich seiner räumlichen Verteilung für das Untersuchungsgebiet flächendeckend ohne Abminderungsfaktoren angesetzt. Entsprechend der Empfehlungen zu KOSTRA sind Punktniederschläge für Einzugsgebiete bis 25 km² Größe als Gebietsniederschlagswerte zu verwenden (DWD 1997).

Die **Festlegung einer Wiederkehrzeit** für den Modellregen wurde als Grundlage für die Simulation von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag vorgenommen. Hierbei wurde auf die Ergebnisse und Erfahrungen aus dem Pilotvorhaben „Standortkundliches Gutachten und Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen als fachliche Grundlage für ein Flurbereinigungsverfahren Riestedt und Pölsfeld“ orientiert, bei dem ein Bemessungsereignis mit einer 4-stündigen Andauer und einer 50-jährigen Wiederkehrzeit angesetzt wurde (ARGE IPRO MISB GEOFLUX 2013). Die erstellte Datenreihe des Modellregens wurde als Input-Datensatz für das Oberflächenabflussmodell verwendet (Abbildung 11). Ergänzend wurde die Simulation anhand des Realereignisses vom 19.Mai 2017 durchgeführt.

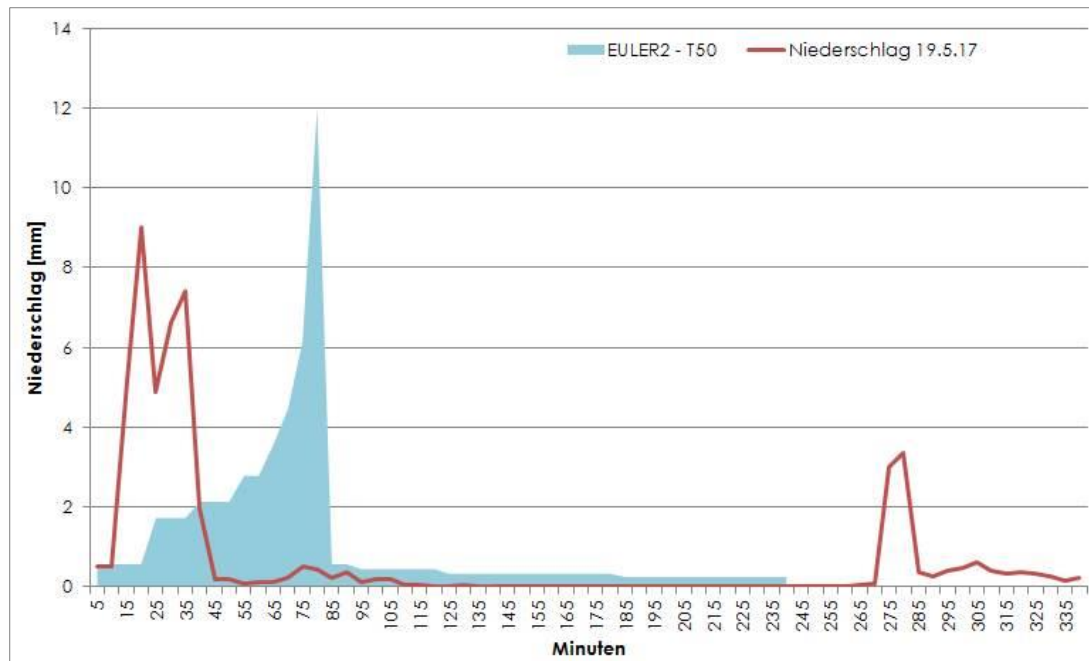


Abbildung 11: Verlauf des Modellregens nach EULER Typ 2 und des Realereignisses vom 19.05.2017

4.4 Festlegung von Berechnungsszenarien

Die Modellierung von Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Sedimentfrachten für den 50-jährigen Modellregen setzt die Definition der Bodenvorfeuchte und des anzunehmenden Bedeckungsgrades voraus. Abbildung 12 zeigt exemplarisch den Einfluss der Vorfeuchte ($PV = 100\%$ gesättigtes Porenvolumen, $FK = \text{Bodenfeuchte gleich Feldkapazität}$, $90\% FK = \text{Bodenfeuchte gleich } 90\% \text{ Feldkapazität}$, $PWP = \text{Bodenfeuchte gleich permanenter Welkepunkt}$) und des Bodenbedeckungsgrades (Schwarzbrache/worst case; Getreidebestand) auf den Scheitelabfluss, welcher exemplarisch im Pilotvorhaben „Standortkundliches Gutachten und Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen als fachliche Grundlage für ein Flurbereinigungsverfahren Riestedt und Pölsfeld“ berechnet wurde (ARGE IPRO MISB GEOFLUX 2013). Während der Niederschlagsereignisse im Jahr 2011 lagen sehr hohe Vorfeuchten von über 80 % nutzbare Feldkapazität vor. Diese Vorfeuchtesituation wurde ebenfalls als Berechnungsszenarium für die Simulation von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag im Untersuchungsraum festgelegt.

Hinsichtlich der Bodenbedeckung wurden für den Oberflächenabfluss zwei Varianten untersucht. Sämtliche Modellierungen wurden unter Annahme fehlender Bodenbedeckung (**worstcase-Szenarium**) durchgeführt. Zusätzlich wurde bei der Simulation des Oberflächenabflusses ein Szenarium mit **50%-iger (BB50)** Bodenbedeckung untersucht, welches in etwa die Realsituation innerhalb der Einzugsgebiete des Untersuchungsraumes im Mai 2017 widerspiegelt. Analog dazu erfolgte die Modellierung des Sedimenaustrages ebenfalls für ein **worstcase-Szenarium (0% Bodenbedeckung BB0)**. Zusätzlich wurde das am 19.Mai 2017 vorherrschende Bedeckungsstadium (**BB_{Stad}**) auf den Teilschlägen betrachtet.

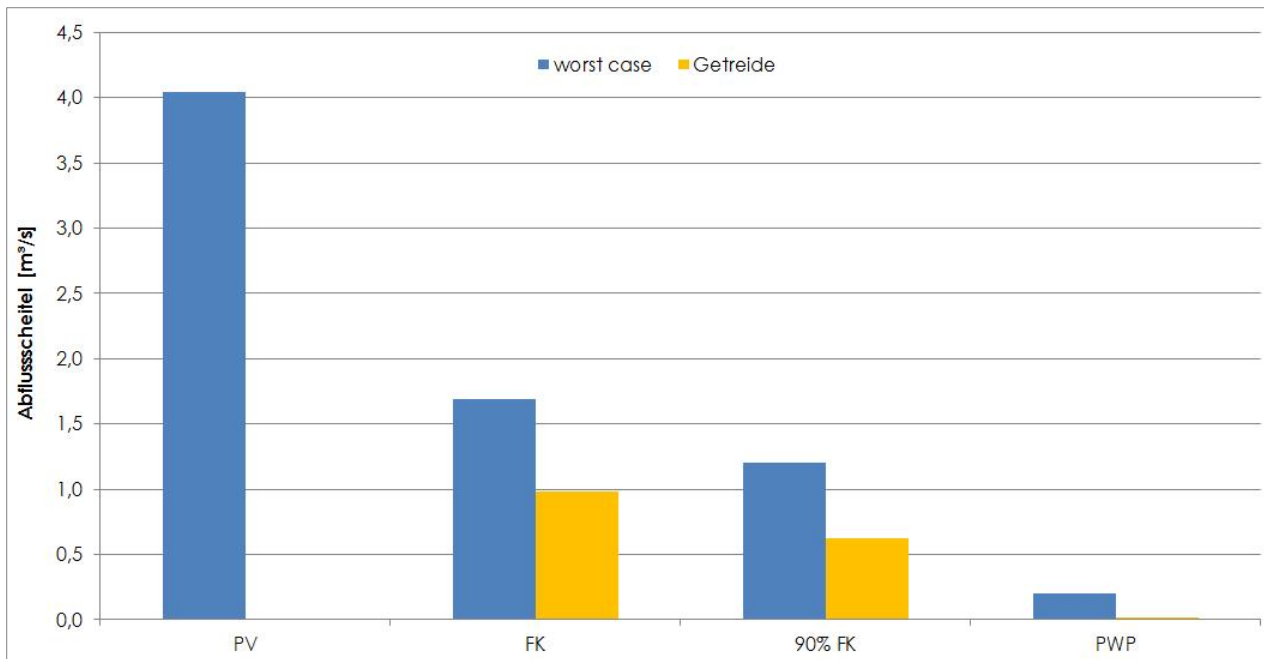


Abbildung 12: Einfluss von Vorgeuchte des Bodens und Bedeckungsgrad auf den Abflussscheitel

4.5 Ganzheitlicher Modellansatz und Parametrisierung/Modellierung Oberflächenabfluss

Für die Bewertung und Quantifizierung von Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Sedimenteintrag existiert eine Vielzahl von in der Praxis und/oder Wissenschaft etablierten physikalisch-dynamischen oder empirischen Modellansätzen. Auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Modellansätze kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Basierend auf den Erfahrungen aus den in Sachsen-Anhalt bisher durchgeführten Arbeiten und den aktuell vorliegenden Datengrundlagen wurden Reliefanalyseverfahren (Kapitel 4.1) und ABAG- bzw. MUSLE-basierte Ansätze zur Bemessung des Erosionsrisikos (siehe Kapitel 4.6) sowie das SCS-Verfahren des U.S. Soil Conservation Service favorisiert. Da beide zu bemessenden Elemente auf eine Reihe gemeinsam zu nutzender Parameter zurückgreifen bzw. gemeinsame Zwischenergebnisse nutzen, wurde zur Modellierung des Oberflächenabflusses sowie des Bodenabtrages und der Sedimentfracht ein **gekoppeltes Erosions-Flussgebiets-Modell** entwickelt (Abbildung 13).

Für die Planung und Bemessung von landeskulturellen, meliorativen und ingenieurtechnischen Vorsorge- und Schutzmaßnahmen gegen Sturzfluten ist die Kenntnis zur Gesamtmenge des Oberflächenabflusses (Effektivniederschlag x Flächengröße) und zur Höhe des Abflussscheitels von Bedeutung. Der Effektivniederschlag ist der Anteil am Gesamtniederschlag, der abflusswirksam wird. Dieser Anteil wird über den Abflussbeiwert ausgedrückt und ist vom Infiltrationspotenzial des jeweiligen Standortes abhängig, welches sich aus den Bodeneigenschaften, der Vorgeuchte, der Nutzung und der Geländeneigung ergibt. Für die Beschreibung des Infiltrationsprozesses liegt eine Reihe von physikalischen Modellansätzen (u. a. nach Green und Ampt, Horton oder Kostjakov) vor. Die Parametrisierung dieser Modelle setzt jedoch die detaillierte Kenntnis der im Untersuchungsraum vorkommenden Böden einschließlich der bodenphysikalischen Eigenschaften zur Ableitung der benötigten Eingangsgrößen voraus. Dieser Fall ist in der Planungspraxis nicht oder nur sehr selten gegeben und kann in Sachsen-Anhalt nicht gewährleistet werden. Der Rückgriff auf empirische Ansätze zur Ermittlung des Effektivniederschlags ist somit notwendig.

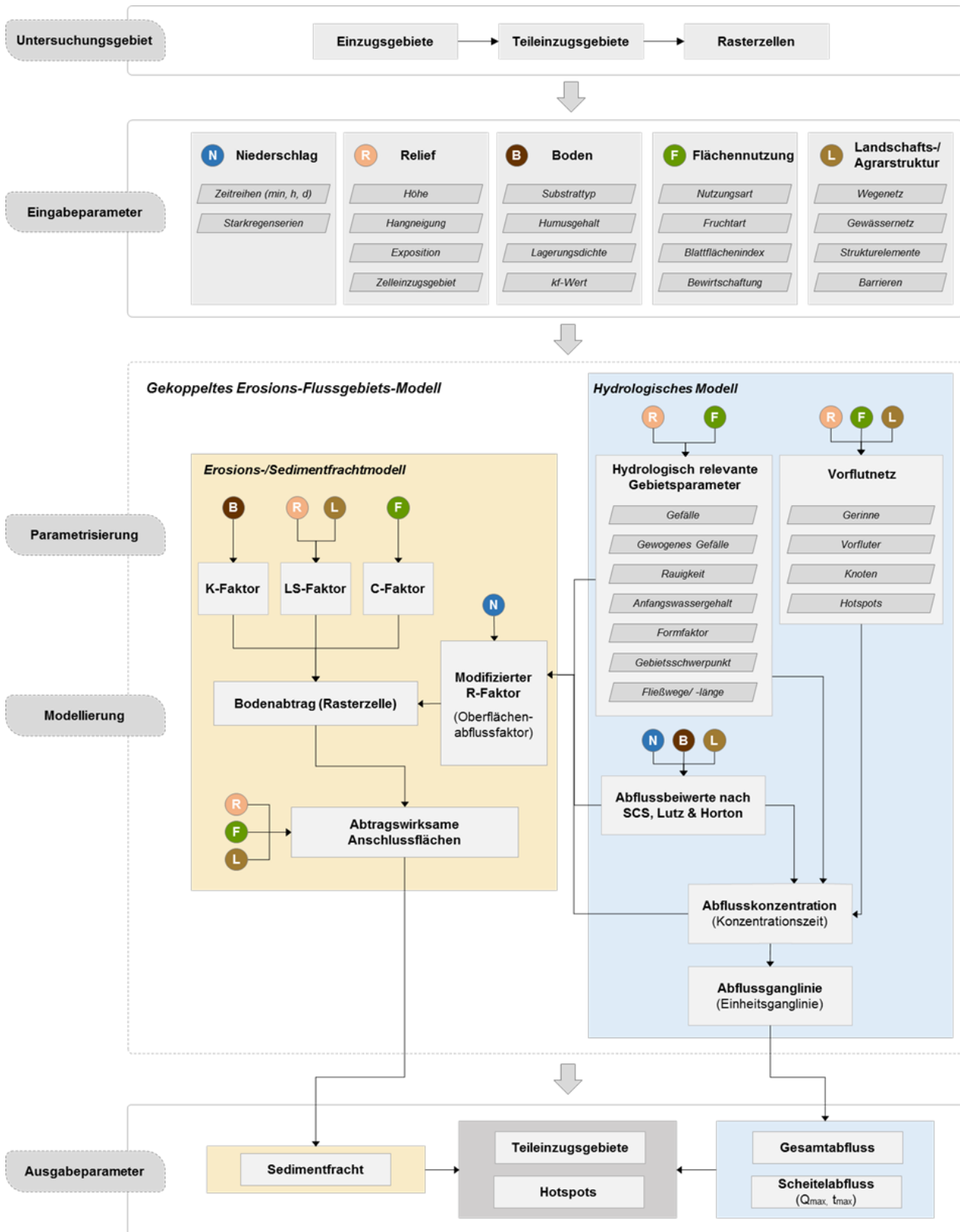


Abbildung 13: Schematischer Überblick über das Erosions-Flussgebiets-Modell

Als Modellgrundlage zur Abbildung des Oberflächenabflusses wurde das "Curve-Number"-Verfahren (CN-Verfahren) des US Soil Conservation Service (US-SCS 1972, 1985, 1986) gewählt. Das US-SCS-Verfahren hat besonders in den USA und in Westeuropa hinsichtlich Akzeptanz und Anwendung weite Verbreitung in Gebietswasserhaushaltsmodellen gefunden und wird für Deutschland durch die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) zur Bestimmung für Bemessungshochwasser in Kleinzugsgebieten empfohlen (DVWK 1991).

Der Oberflächenabfluss wird beim SCS-Verfahren auf der Grundlage von Gebietsgrößen ermittelt, wobei die Haupteinflussgrößen **Infiltrationsvermögen der Bodenoberfläche, Nutzung/Bewuchs und Bodenfeuchtezustand (Retention der oberen Bodenschicht)** das Verfahren wesentlich bestimmen. Die Gebietsgrößen münden summarisch in einem sogenannten CN-Faktor (CN = Curve Number), der von 0 bis 100 % variieren kann (CN = 0 % vollständige Infiltration, CN = 100 % vollständige Oberflächenabflussbildung). Die Werte liegen für verschiedene Bodentypen und -nutzungen tabellarisch vor bzw. sind speziellen Nomogrammen entnehmbar.

Für eine kontinuierliche Ausweisung ist die Verwendung von Bodentypen nicht optimal, da es an der Grenze von einem Bodentyp zum nächsten zu Sprüngen (Diskontinuitäten) kommt. Günstiger ist die Ableitung anhand kontinuierlich verlaufender Beziehungen von Bodenkennwerten zu den CN-Werten, wie sie z. B. für die kf-CN-Beziehung entwickelt und für die Ableitung genutzt wurden (DUNGER 2002):

$$CN = C0 + C1 * kf,o + C2 * \ln(kf,o) \quad (1)$$

CN ... CN-Faktor des US-SCS-Verfahrens [%]; kf,o ... kf-Wert an der Oberfläche [m/s]; C0, C1, C3 ... Beiwerte nach DUNGER (2002)

Aus den standortspezifisch ermittelten CN-Werten kann gemäß der Vorgehensweise nach US-SCS (1986) sowie DVWK (1991) der Effektivniederschlag für mittelfeuchte Böden nach folgenden Formeln ermittelt werden:

$$N_{eff} = \frac{(N-la)^2}{(N-la) + S_{max}} \quad (2)$$

$$S_{max} = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

$$la = a * S_{max} \quad (4)$$

N_{eff} ... Effektivniederschlag [mm]; N ... Niederschlag [mm]; S_{max} ... maximaler Gebietsrückhalt des Einzugsgebietes [mm]; la ... Anfangsverlust [mm]; a ... Konstante zur Bestimmung des Anfangsverlustes aus dem maximalen Speichervermögen (lt. US-SCS 20 % von S_{max}: 0,2; Empfehlung für Deutschland laut DVWK (1991); 0,05)

Nach den Gleichungen 2 bis 4 wird der Effektivniederschlag für mittelfeuchte Böden (Niederschlagsmenge in den vorangegangenen 5 Tagen in der Vegetationsperiode 30 bis 50 mm, in der übrigen Zeit 15 bis 30 mm) und nicht geneigte Böden ermittelt. Für die Berücksichtigung anderer Vorfeuchten sowie geneigter Standorte sind Anpassungen erforderlich, die in MANIAK (2010), DUNGER (2002) bzw. US-SCS (1972, 1985, 1986) ausführlich dargelegt und dort zu entnehmen sind.

Eine weitere wichtige Kenngröße zur Bemessung meliorativer und wasserbaulicher Anlagen, insbesondere zur Ausweisung des maximal benötigten Durchflussprofils sowie zur Notwendigkeit und Art der Sohl- und Böschungssicherungen, bildet der Abflussscheitel sowie im Falle von gestaffelten Teileinzugsgebieten dessen

Eintrittszeitpunkt. Der Abflussscheitel bildet des Weiteren eine wichtige Eingangsgröße bei der Berechnung des Bodenabtrages nach dem MUSLE-Ansatz (siehe Kapitel 4.6). Da in den wenigsten Fällen für die zu untersuchenden Einzugsgebiete Durchflussganglinien aus Pegelaufzeichnungen vorliegen, muss diese Ganglinie in der Regel aus hydrologischen Gebietskennwerten abgeleitet werden. Zur Anwendung kommt das Einheitsganglinienverfahren, welches die Abflusskonzentration eines Einzugsgebietes beschreibt. Die Einheitsganglinie entspricht einem „Black-Box“ Ansatz, der den resultierenden Direktabfluss als Funktion des Niederschlags beschreibt. Das Verfahren setzt voraus, dass das Einzugsgebiet annähernd gleichförmig überregnet wird und ein homogenes Abflussverhalten aufweist. Aus diesem Grund ist die Untergliederung des Einzugsgebietes in mehrere, jeweils weitestgehend homogene Teileinzugsgebiete notwendig (Kapitel 4.1). Nach MANIAK (2010) lässt sich der Direktabfluss für jeden Zeitpunkt n errechnen aus:

$$QDn = \sum_{m=1}^n Pm * Un - m + 1 \quad (5)$$

QDn ... Direktabfluss zum Zeitpunkt n; Pm ... Niederschlag zum Zeitpunkt m; Un-m+1 ... Übertragungsfunktion zum Zeitpunkt n-m+1

Für die Ermittlung der Übertragungsfunktion liegen verschiedene Ansätze vor. Für kleine Einzugsgebiete (< 8 km²) kann ein Ansatz basierend auf dem SCS-Ansatz (MANIAK 2010) verwendet werden. In der Praxis zeigt sich für Sachsen-Anhalt allerdings, dass in stärker geneigten Einzugsgebieten (mittlere Hangneigung > 9 %) bereits bei Gebietsgrößen von > 10 ha sehr hohe, teils unrealistische Scheitelwerte auftreten. Aus diesem Grund wurde bei den Berechnungen parallel zu diesem Vorgehen der Ansatz nach LUTZ (MANIAK 2010) gewählt, welcher die einzugsgebietspezifischen Kennwerte und den Zeitpunkt des Starkniederschlags innerhalb des Jahres (sprich die Pflanzenentwicklung) berücksichtigt.

Für die Berechnung des Oberflächenabflusses der Teileinzugsgebiete und der Kopplung dieser in einem Flussgebietsmodell kommt das Modellpaket LUNA der Firma Rehm Software zur Anwendung. Dabei wird weitestgehend auf die Nutzung von Standardparametern verzichtet und die Möglichkeit der Verwendung spezifischer Eingangsdaten genutzt. Dies ist insbesondere bei der Anwendung des Ansatzes nach Prof. Lutz von Bedeutung, da die Wahl der Gebiets- und Ereignisparameter entscheidenden Einfluss auf den Scheitel und Verlauf der Abflusswelle hat. Es wurden folgende Kennwerte verwendet:

Endabflussbeiwert:	Abflussbeiwert für CN-Wert bei 250 mm Niederschlag
Anfangsverluste:	je nach Bedeckung variierend von 2 mm für unbedeckt bis 6 mm für 100 % Bodenbedeckung
Ereignisparameter:	C1= 0,05; C2= 4,62; C3=2 und C4= 0
Monat:	worstcase = April, 50 % Bodenbedeckung = Mai, 100 % Bodenbedeckung = Juni

Mit diesen Ansätzen konnten bereits in anderen Untersuchungen in Sachsen-Anhalt plausible, an vorhandenen Sekundärinformationen (Videos, Fotos) validierte Abflussscheitel ermittelt werden, so auch im Pilotvorhaben „Standortkundliches Gutachten und Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen als fachliche Grundlage für ein Flurbereinigungsverfahren Riestedt und Pölsfeld“.

Die Auswirkung der jeweiligen Modellansätze für die Ermittlung des Abflussbeiwertes und der Einheitsganglinie auf die Höhe des Abflussscheitels und die Dauer der Abflusswelle sind in Abbildung 14 dargestellt (siehe auch SARTOR 1997).

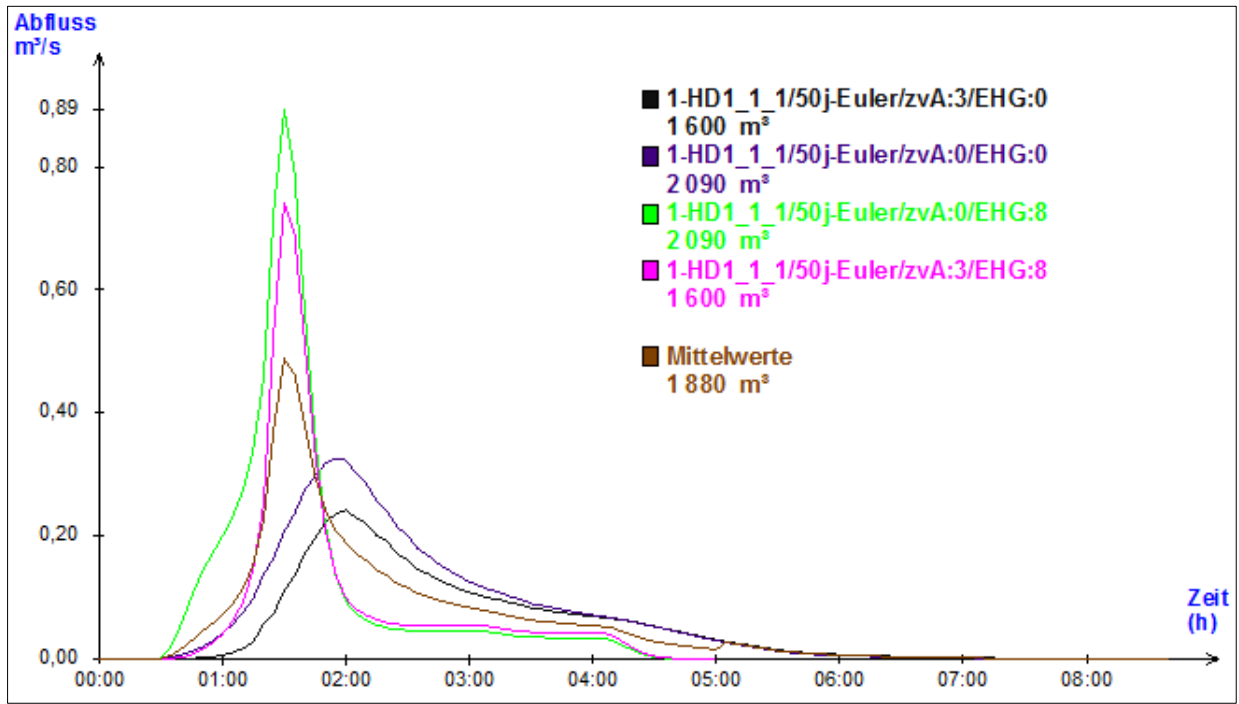


Abbildung 14: Abflussscheitel und Dauer der Abflusswelle für ein 50-jähriges Niederschlagsereignis ($N= 47,5 \text{ mm}$) bei Anwendung der Berechnung des Abflussbeiwertes nach CN-Verfahren (zvA:0) und nach Lutz (zvA:3) sowie der Einheitsganglinie nach SCS (EHG:8) und nach Lutz (EHG:0)

Die Auswirkungen der Berechnungsansätze sind insbesondere beim Abflussscheitel zwischen dem Minimal- und Maximalwert mit Faktoren in der Regel > 2 sehr groß, was bei der falschen Wahl des Ansatzes eine Unter- bzw. Überdimensionierung der landeskulturellen und ingenieurbautechnischen Maßnahmen mit all ihren finanziellen Folgen nach sich ziehen kann. Aus den dargestellten Ergebnissen wird deutlich, wie wichtig vor Beginn der Arbeiten die gebietsspezifische Wahl und Validierung des geeigneten Modellansatzes ist. Die Ableitung des Oberflächenabflusses im Rahmen des **gekoppelten ‚Erosions-Flussgebiets-Modells‘** für eine großmaßstäbige Planungsebene umfasst folgende Teilschritte:

I. Präprozessing

- Übernahme der nutzungsdifferenzierten Teileinzugsgebiete mit Abflussbahnen aus der Reliefanalyse (Kapitel 4.1) und Ausgrenzung des Vorflutnetzes (Gerinne, Vorfluter, Knotenpunkte, Hotspots)
- Überführung der Unterlagen der Bodenschätzung in die Nomenklatur der KA5, Überprüfung durch Geländesondierung (Kapitel 4.2)
- Ableitung des kf-Wertes zur Ermittlung des CN-Wertes sowie der Feldkapazität entsprechend der gewählten Vorgeuchte für die Oberböden der Klassenflächen unter Nutzung der Profildatenbank Sachsen-Anhalt sowie regional vorliegender Untersuchungen
- Parametrisierung hydrologisch relevanter Gebietsparameter (Rauigkeit, Anfangswassergehalt, Fließlängen, Gebietsschwerpunkte, gewogene Gefälle, standortspezifische Endabflussbeiwerte, Hangneigung, Einzugsgebietsgröße, Fließweg)
- Erstellung einer Karte der Nutzungstypen
- CN-Faktorenermittlung unter Berücksichtigung der Nutzungstypen, Bodenfeuchte und Hangneigung und Aggregation für Teileinzugsgebiete

II. Niederschlag-Abfluss-Analyse (N-A-Modell)

- Überführung der im Präprozessing ermittelten Eingangswerte in das N-A-Modell
- Wahl, Testlauf und Validierung des Modellansatzes für Abflussbeiwert und Einheitsganglinie
- Berechnung Gesamtabfluss [m^3], Scheitelabfluss [m^3/s] und Durchflussganglinie entsprechend der vorgegebenen Modellregen und Bodenbedeckungen
- Aggregation der Abflussbilanzen auf die Hotspots

III. Flussgebietsmodell

Abschließend erfolgte der Aufbau der Flussgebietsmodelle für die einzelnen Teilräume aus der Verknüpfung der einzelnen Teileinzugsgebiete mit ihren jeweiligen N-A-Modellen. Flussgebietsmodelle sind ein vereinfachtes Abbild der Realität und beschreiben den Ablauf von Abflussereignissen in gestaffelten Abflussbahnen bzw. im Gewässernetz durch die Berücksichtigung der Wellenverformung des Abflusses längs der Abflussbahn/Gewässerstrecke.

Im Ergebnis wird die Abflusswelle (Ganglinie) am Gebietsauslass, der sich in der Regel am Übergang zu bebauten Bereichen bzw. zu Infrastrukturobjekten befindet, aus der Interaktion der einzelnen Teileinzugsgebiete ermittelt.

Die modelltechnische Umsetzung der Berechnungen erfolgte mit dem Programmpaket ‚LUNA‘ der Firma Rehm Software oder dem frei verfügbaren Modell ‚Storm Water Management Model‘ (SWMM) der United States Environmental Protection Agency. Bei dem Programmpaket ‚LUNA‘ handelt es sich um eine Sammlung von Modellen zur Niederschlags-Abfluss-Analyse und zur Berechnung von Flussgebietsmodellen. Diese greifen auf eine zentrale Datenbank zurück, was eine effiziente Wahl des Modellansatzes und den Vergleich der Ergebnisse nach unterschiedlichen Ansätzen ermöglicht. Für kleinere Gebiete, für die der SCS-Ansatz geeignet ist, bietet sich die Nutzung des SWMM-Modells an. Dieses ist GIS-basiert, setzt jedoch nur das SCS-Verfahren um.

4.6 Parametrisierung und Modellierung Bodenabtrag und Sedimentfracht

Die Bilanzierung und Bewertung von Bodenabtrag und Sedimentfracht wurde nach zwei Verfahren vorgenommen, wobei hier eine enge Kopplung zwischen den verwendeten Eingangsdaten und Zwischenergebnissen erfolgte. Auf der einen Seite diente die Anwendung des Standardansatzes der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) nach DIN 19708:2017-08 (DIN 2017) der **Einschätzung der Gefährdungssituation auf den landwirtschaftlichen Flächen in den Teilräumen und der Ableitung des Handlungsbedarfs zum Schutz vor schädlicher Bodenveränderung hinsichtlich Vorsorge und Gefahrenabwehr** (vgl. LLG 2018). Weiterhin wurde für die Bestimmung von Bodenabtrag und Sedimentfracht eines Einzelregens ein spezifizierter Ansatz der ABAG bzw. MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) entwickelt und zur Anwendung gebracht, bei dem der Niederschlagsfaktor ‚R‘ der ABAG durch einen spezifizierten Oberflächenabflussfaktor ersetzt wurde. Der Vergleich mit den langjährigen mittleren Bodenabträgen nach ABAG (klassisch) ist somit gegeben. Der spezifizierte MUSLE-Ansatz dient vorrangig der **Abschätzung von Bodenabtrag und Sedimentfracht eines Einzelregens an den ausgewiesenen Hotspots und ist Grundlage für die Planung von Schutzmaßnahmen** (vgl. WURBS UND STEININGER 2018).

Die Berechnung des mittleren jährlichen Bodenabtrages nach ABAG erfolgte in der Form:

$$A = R * K * L * S * C \quad (6)$$

A ... mittlerer, jährlicher Bodenabtrag [t/ha/a]; R ... Regen- und Oberflächenabflussfaktor; K ... Bodenerodierbarkeitsfaktor; C ... Bodenbedeckungsfaktor; L ... Hanglängenfaktor; S ... Hangneigungsfaktor

Die Datenbasis für den **R-Faktor** bildete die für Sachsen-Anhalt vorliegende R-Faktorenkarte, welche auf Grundlage der mittleren Jahresniederschlagssummen des Zeitraumes 1981-2010 erarbeitet wurde. Die Ermittlung des **K-Faktors** erfolgte anhand der im Rahmen der Bodengrunddatenermittlung erfassten Bodenparameter und der Unterlagen der Bodenschätzung gemäß DIN 19708:2017-08 (DIN 2017). Die Bestimmung des **L- und S-Faktors** erfolgte ebenfalls nach DIN 19708:2017-08. Der Berechnung des L-Faktors ist die Ableitung der erosiven Hanglänge vorangestellt. Diese basiert auf dem spezifischen Einzugsgebiet einer Rasterzelle sowie der Breite einer potenziellen Abflussbahn und wurde nach dem Ansatz von MOORE UND WILSON (1992) berechnet. Dabei wurden infrastrukturelle und landeskulturelle Elemente nach ihrer Verifizierung im Gelände als Erosionsbarrieren berücksichtigt. Gleichfalls bilden landeskulturelle Elemente, wie Querriegel, die in das Maßnahmenkonzept aufgenommen wurden, Barrieren. Barrieren verkürzen die erosive Hanglänge und verringern somit den Bodenabtrag auf der hangabwärts liegenden Fläche. Die **C-Faktoren** standen als mehrjährige Mittelwerte für die Periode 2013 bis 2017 in digitaler Form schlagbezogen zur Verfügung (STEININGER U.A. 2013).

Die rasterbezogen vorgenommene Berechnung des langjährigen mittleren Bodenabtrages diente der Ersteinschätzung des Bodenerosionsrisikos auf den Ackerflächen. Die modelltechnische Umsetzung erfolgte durch Anwendung des Erosionsmodells ABAGFlux (VOLK U.A. 2010; WURBS U.A. 2007). In ABAGFlux werden die verfügbaren ABAG-Faktoren ‚R‘, ‚K‘ und ‚C‘ implementiert und auf Basis des DGM der L- und S-Faktor unter Berücksichtigung von Barrieren abgeleitet. Abschließend erfolgt die rasterbasierte Berechnung des potenziellen (ohne C-Faktor) und aktuellen (mit C-Faktor) Bodenabtrages. Die Verteilung des potenziellen Bodenabtrages (nach ABAG) und die Einstufung der Gefährdung zeigt Abbildung 15.

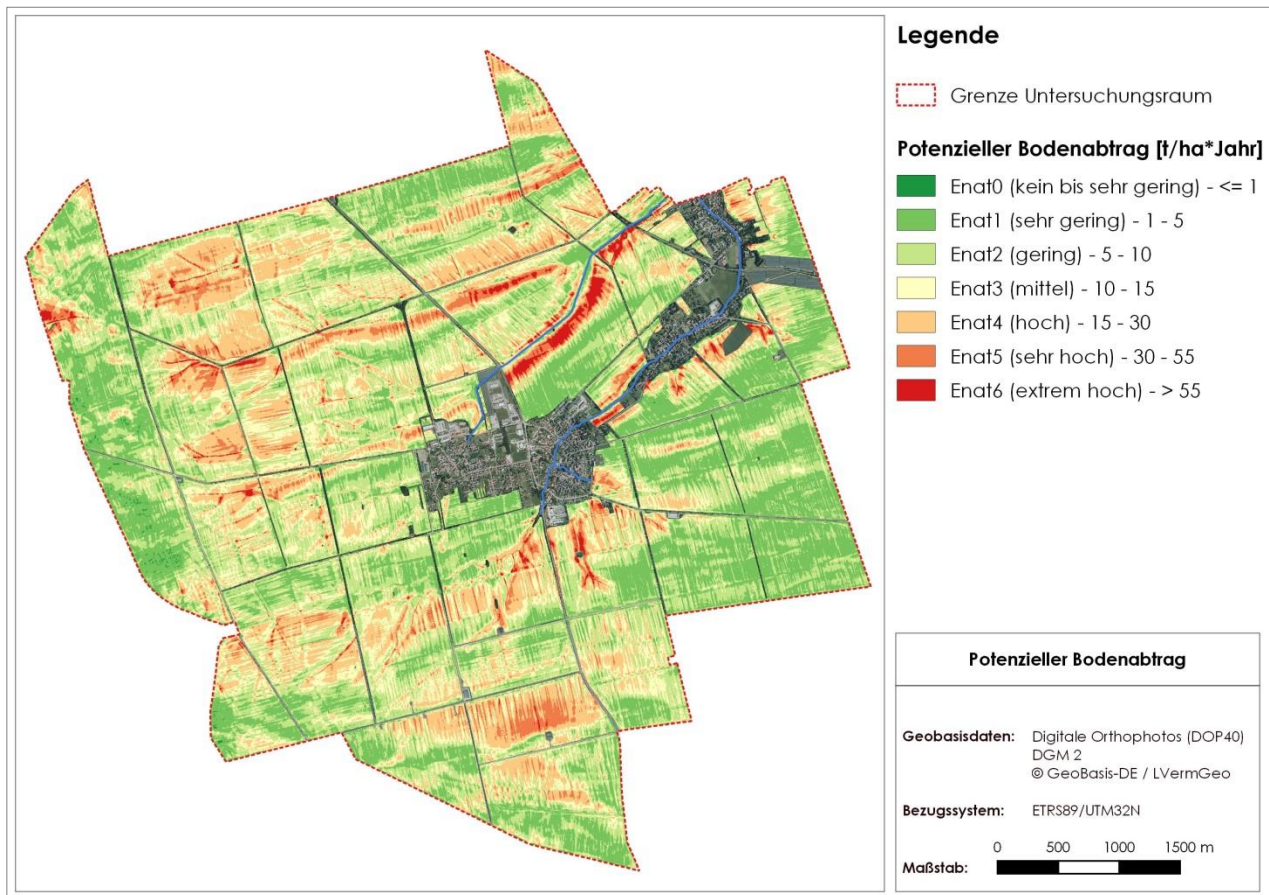


Abbildung 15: Mittlerer potenzieller langjähriger Bodenabtrag (nach ABAG)

Die Ableitung des Handlungsbedarfs zum Schutz vor schädlicher Bodenveränderung orientiert sich an den Schwellenwerten des mittleren langjährigen aktuellen Bodenabtrages [t/ha*Jahr] in Abhängigkeit von der Bodenzahl. Die Beurteilung des Handlungsbedarfs lässt sich Tabelle 3 entnehmen (siehe auch LLG 2018). Anhand der in Abbildung 16 vorgenommenen Klasseneinteilung des aktuellen Bodenabtrages gemäß DIN 19708:2017-08 (DIN 2017) lassen sich zusammenhängende Bereiche im Untersuchungsraum identifizieren, auf denen die Anforderungen der Vorsorge- und Gefahrenabwehr erfüllt, vermutlich nicht erfüllt oder Maßnahmen sofort notwendig sind. Erhöhter Handlungsbedarf besteht demnach nur in sehr kleinen Ausschnitten, vornehmlich im Bereich erosiver Abflussbahnen.

Langjähriger mittlerer Bodenabtrag [t/ha*a] in Abhängigkeit von der Bodenzahl (BZ)	Beurteilung des Handlungsbedarfs für das Schutzgut Boden
≤ BZ/8 Kappungsgrenze 7	Gefahrenverdacht ist ausgeschlossen. Mit zunehmendem Schwellenwert <u>erhöhen</u> sich die Anforderungen an Vorsorgemaßnahmen gegen Bodenerosion.
> BZ/8 und ≤ BZ/4 Kappungsgrenze 13	Anforderungen der Vorsorge und Gefahrenabwehr sind erfüllt, wenn alle zumutbaren Erosionsschutzmaßnahmen ergriffen werden. - Vorsorgeberatung empfehlenswert
> BZ/4 Kappungsgrenze 13	Anforderungen der Vorsorge in der Regel nicht und der Gefahrenabwehr vermutlich nicht erfüllt. - Vorsorgeberatung notwendig - Gefahrenverdacht, weiterführende Untersuchungen notwendig - Maßnahmen der Gefahrenabwehr können notwendig sein.
> BZ/2	Maßnahmen der Gefahrenabwehr in der Regel sofort notwendig

Tabelle 3: Schwellenwerte und Handlungsbedarf zum Schutz vor schädlicher Bodenveränderung

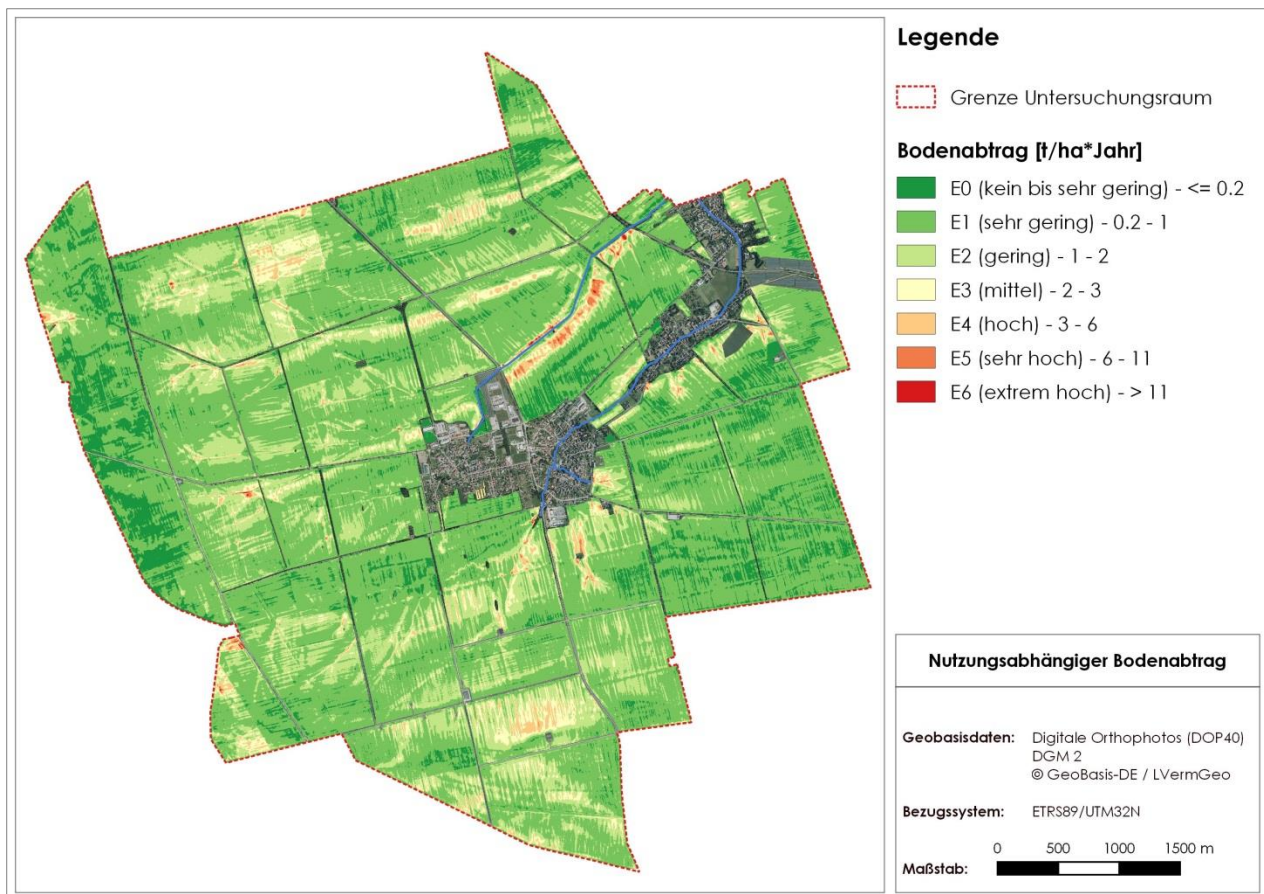


Abbildung 16: Mittlerer nutzungsabhängiger langjähriger Bodenabtrag (nach ABAG)

Neben der Bewertung der mittleren Bodenerosionsgefährdung auf den betrachteten Ackerflächen stand vor allem die Abschätzung von Sedimentfrachten und -einträgen an den ausgewiesenen Hotspots im Vordergrund. Hierzu war es erforderlich, einen Modellansatz zum Ansatz zu bringen, der – im Gegensatz zum Standardansatz der ABAG – die Dynamik und den Verlauf des Regenereignisses und des entstehenden Oberflächenabflusses berücksichtigt und dabei möglichst effizient hinsichtlich Datenbeschaffung, Modellparametrisierung und Modellierung anzuwenden ist. Der verwendete Modellansatz basiert auf einem spezifizierten Ansatz der MUSLE und ermöglicht, aufgrund der Einbindung gleicher Parameter, auf der einen Seite die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der ABAG-Berechnung und liefert andererseits Ereignis bezogene Werte zu Bodenabtrag und Sedimentausträgen durch die Einbindung eines modifizierten Oberflächenabflussfaktors (vgl. WURBS UND STEININGER 2018).

Vergleichbar mit dem ABAG-Ansatz wurde für jede Rasterzelle der Bodenabtrag nach folgender Formel bestimmt:

$$A = Q_{OF} * K * L * S * C \quad (7)$$

A ... Bodenabtrag je Rasterzelle [t]; Q_{OF} ... Oberflächenabflussfaktor

Dabei entsprechen K, L, S und C den in Gleichung (6) beschriebenen und zeitlich statischen Faktoren der ABAG. Unbedingt zu unterstreichen ist, dass die Verwendung von mittelmaßstäbigen Eingangsdaten (VBK 50, DGM 10) aufgrund der zumeist kleinräumigen Teilräume nicht ausreichend für eine plausible Modellierung ist. Vielmehr ist für die Bestimmung des K-Faktors auf Unterlagen der Bodenschätzung (Kapitel 4.2) sowie bei der Ableitung des L- und S-Faktors auf ein DGM mit einer Rasterweite von maximal 5 m zurückzugreifen. Zusätzlich ist die Einbindung der im Rahmen der Geländebegehung erfassten infra- und landschaftsstrukturellen Elemente bei der Bestimmung des L-Faktors von großer Bedeutung, da diese maßgeblich die erosive Hanglänge bestimmen können und zusätzlich Wasser- und Sedimentflüsse lenken. Die alleinige Verwendung mittelmaßstäbiger digitaler Landnutzungsdaten (ATKIS-Daten) ist für den großmaßstäbigen Bereich nicht ausreichend. Die aufgeführten Faktoren lagen entsprechend

der Rasterauflösung des DGM vor und wurden mit dem Oberflächenabflussfaktor, welcher den R-Faktor der ABAG ersetzt, verknüpft. Die Bestimmung des Oberflächenfaktors orientiert sich an folgendem Ansatz von WILLIAMS (1984) UND ZHANG (2009) und ist dort im Detail beschrieben:

$$Q_{OF} = 11,8 * (Q * q_p)^{0,56} \quad (8)$$

Q ... Oberflächenabflussvolumen je Rasterzelle [m^3]; q_p ... Oberflächenabflussscheitel je Zelle [m^3/s]

Die Berechnung von Volumen und Abflussspitze des Oberflächenabflusses erfolgte durch Verwendung folgender Parameter, die im Flussgebietsmodell berechnet und über die Modellkopplung an das Erosionsmodell übergeben wurden (vgl. auch Abbildung 13):

- Niederschlag [mm]
- CN-Faktor des US-SCS-Verfahrens [%]
- Anfangswassergehalt [%]

Darüber hinaus wurden innerhalb des Präprozessings das Einzugsgebiet [m^2] und der Fließweg jeder Rasterzelle [m] zum Gebietsauslass bzw. der Vorflut sowie deren Gefälle [%] ermittelt und im Erosionsmodell verwendet. Die für jede Rasterzelle ermittelten Bodenabträge wurden über ein Fließmodell zum Gebietsauslass (Hotspot) transferiert und ergeben dort den Gesamtsedimentaustrag in Tonnen für das betrachtete Ereignis.

Neben der Bestimmung des Sedimentaustrages ist die Ausweisung der abtragsrelevanten **Anschlussflächen** von Bedeutung, da nur sie zum Gesamtaustrag beitragen. Die Identifizierung der Flächen erfolgte im Vorfeld der Erosionsmodellierung und orientiert sich am potenziellen Bodenabtrag, der Entfernung zum Vorflutsystem und der Hangneigung einer Rasterzelle. Der Ansatz basiert auf den Ergebnissen von ALDER U.A. (2013) und HÜRDLER U.A. (2015), die im Rahmen der Erarbeitung einer Gewässeranschlusskarte der Erosionsrisikokarte der Schweiz im 2-m-Raster Anschlusswahrscheinlichkeiten ermittelt und hinsichtlich Plausibilität überprüft haben. Der Modellansatz wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „Entwicklung und Anwendung einer Methode zur feldblockbezogenen Abschätzung des wassererosionsbedingten und sedimentgebundenen P-Austrages in die Fließgewässer Sachsen-Anhalts“ in den Jahren 2017 und 2018 auf das Land Sachsen-Anhalt adaptiert und erfolgreich auf Landesebene angewendet (STEININGER U.A. 2019).

Grundlage für die Ausweisung der Anschlussflächen war im Untersuchungsraum das aufbereitete DGM2. Über das DGM wurden Flächen ausgewiesen, welche direkt (über Vorfluter und Gräben) oder indirekt (über Tiefenlinien) an die festgelegten Hotspots angeschlossen sind und somit zum Sedimenteintrag an diesen Punkten beitragen. Die Festlegung der Vorfluter und Gräben erfolgte anhand der im Gelände vorgenommenen Kartierung. Tiefenlinien sind nur indirekt an das Netz angeschlossen, da sie als Abflussbahn nur im Fall von Starkregeneignissen aktiviert werden können und dem Transport von Oberflächenwasser dienen. Ihre Festlegung wurde anhand von Schwellenwerten für ihr Einzugsgebiet und ihr Gefälle vorgenommen. Zusätzlich wurden Barrieren eingebunden, welche eine Fließbahn unterbrechen und somit eine potenzielle Anschlussfläche abkoppeln. Abbildung. 17 zeigt die Anschlussflächen mittlerer und hoher Anschlusswahrscheinlichkeit, die für die Bilanzierung der Sedimentfrachten an den Hotspots einbezogen wurden. Die Klassifizierung erfolgte in Abhängigkeit vom potenziellen Erosionsrisiko einer Rasterfläche und ihrer Entfernung zu einer Tiefenlinie oder einem Graben. Je höher das potenzielle Erosionsrisiko einer Fläche und je geringer ihr Abstand zum Fließnetz, umso größer ist ihre Anschlusswahrscheinlichkeit. Im Detail können die Ansätze zur Ausweisung von Tiefenlinien und Anschlusswahrscheinlichkeiten ALDER U.A. (2013) sowie HÜRDLER U.A. (2015) entnommen werden. Die Verifizierung der Flächen konnte anhand der Auswertung der SENTINEL 2-Aufnahmen vorgenommen werden.

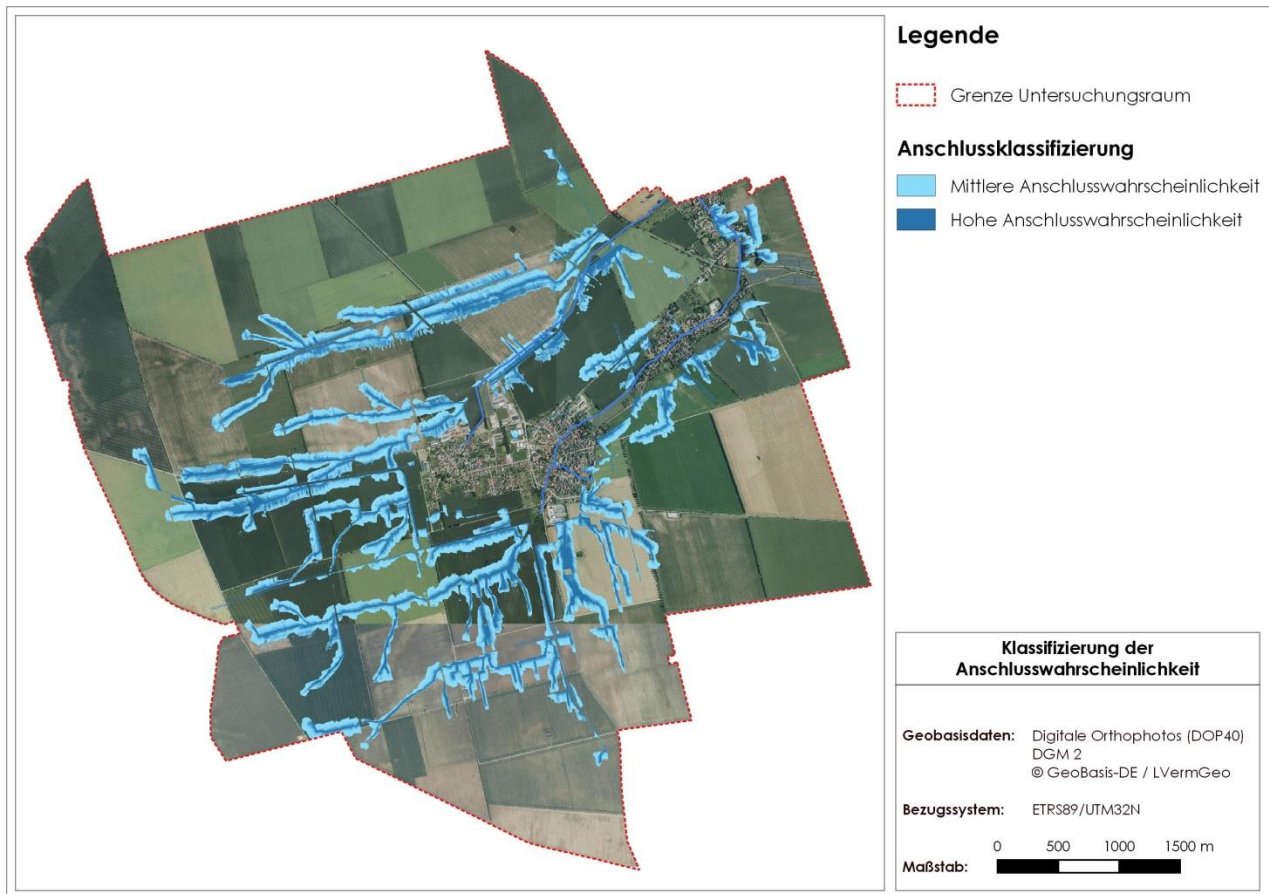


Abbildung 17: Anschlussklassifizierung der Ackerflächen

Ermittlung der Maßnahmenwirksamkeiten

Wesentlicher Bestandteil der Maßnahmenplanung zur Verringerung des Sedimenteintrages in die Ortslage und in infrastrukturelle Bereiche ist die Anlage von landeskulturellen Elementen oder die Umwandlung von Acker- in Grünland, die beiderseits dem Sedimentrückhalt in der Fläche dienen. Die Abschätzung der Retentionsleistung in Abhängigkeit von Breite des Elementes und der Hangneigung wurde anhand vorliegender Literatur vorgenommen. Hier wurde auf die Arbeiten von DWA (2015), BACH u.A. (1997), FABIS (1995) und ZILLGENS (2001) zurückgegriffen und für die einzelnen Maßnahmenpakete folgende Wertebereiche für Retentionsleistungen festgelegt.

- Querriegel/ Verwallungen (Mindesthöhe 0,5 m) – 80 % bis 90 %
- Begrünte Tiefenlinien (mindestens 20 m Breite) – 70 % bis 80 %
- Begrünte Sedimentationsfläche – 70 % bis 90 %
- Wege (überhöht bzw. verwallt) – 50 % bis 70 %
- Sedimentationsflächen; in Grünland umgewandeltes Ackerland - > 80 %

In Abhängigkeit von der Neigung, Hanglänge und den Bodeneigenschaften des oberliegenden Einzugsgebietes, welche die Anströmgeschwindigkeit mitbestimmen sowie der Breite bzw. Fläche eines Elementes müssen anhand der aufgeführten Literatur standortspezifische Abschläge auf die Retentionsleistungen berücksichtigt werden.

Die dauerhafte Wirksamkeit der Maßnahmen hängt maßgeblich von der regelmäßigen Unterhaltung (Gräben) und Beräumung (Verwallungen, u. ä.) ab.

5 Ergebnisse

Die Erarbeitung eines abgestimmten Maßnahmenkonzeptes basiert auf den simulierten Werten für Oberflächenabfluss und Sedimentfracht an den ausgewiesenen Eintrittsbereichen. Auf die Grundlagenermittlung und die erarbeiteten Zwischenergebnisse wurde in Kapitel 4 eingegangen. Kapitel 5 umfasst die Darstellung der Bilanzergebnisse an den Hotspots/Bilanzpunkten bzw. Teileinzugsgebieten für den Modellregen ohne Planung von Maßnahmen.

Für die Maßnahmenplanung werden einzelne Hotspots und Teileinzugsgebiete zusammengefasst und ganzheitlich bilanziert. Die Scheitelabflüsse beziehen sich jeweils auf den Auslass aus dem Teileinzugsgebiet am Hotspot bzw. Bilanzpunkt. Für die gleichen Punkte wird die Wirksamkeitsanalyse durchgeführt. Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick über die Modellergebnisse für die Teilbereiche im Untersuchungsgebiet. Aufgeführt sind Hotspots und Bilanzpunkte, die relevant für die Sediment- und Abflussproblematik im Gebiet und somit für die Maßnahmenplanung sind.

Die den Tabellen vorangestellten Karten geben einen Überblick über die ausgewählten Hotspots und Bilanzpunkte vor dem Hintergrund des abzustimmenden Maßnahmenkomplexes. Hinterlegt sind die potenziellen Abflussbahnen aus der Reliefanalyse. Folgende, in den Kapiteln 4.5 und 4.6 erläuterte Parameter, sind in den Tabellen aufgeführt:

- **Sedimenteintrag** [t] – Bezugsraum ist der Hotspot/Bilanzpunkt, einschließlich oberhalb gelegener Eintrittspunkte in Gräben, Vorfluter oder Straßen
- **Oberflächenabfluss** – Gesamtabfluss [m³] und Scheitelabfluss [m³/s]; Bezugsraum ist der Hotspot/Bilanzpunkt

Für alle Parameter sind zunächst die Modellergebnisse für den Ist-Zustand unter folgenden Annahmen dargestellt (vgl. Kapitel 4.4):

- **Oberflächenabfluss**
 - **wc BB₀** - worst case-Szenarium mit 0 % Bodenbedeckung
 - **BB₅₀** – Szenarium mit 50 % Bodenbedeckung
- **Sedimenteintrag**
 - **wc BB₀** - worst case-Szenarium mit 0 % Bodenbedeckung
 - **wc BB_{Stad}** - Bedeckungsstadium 19.05.2017

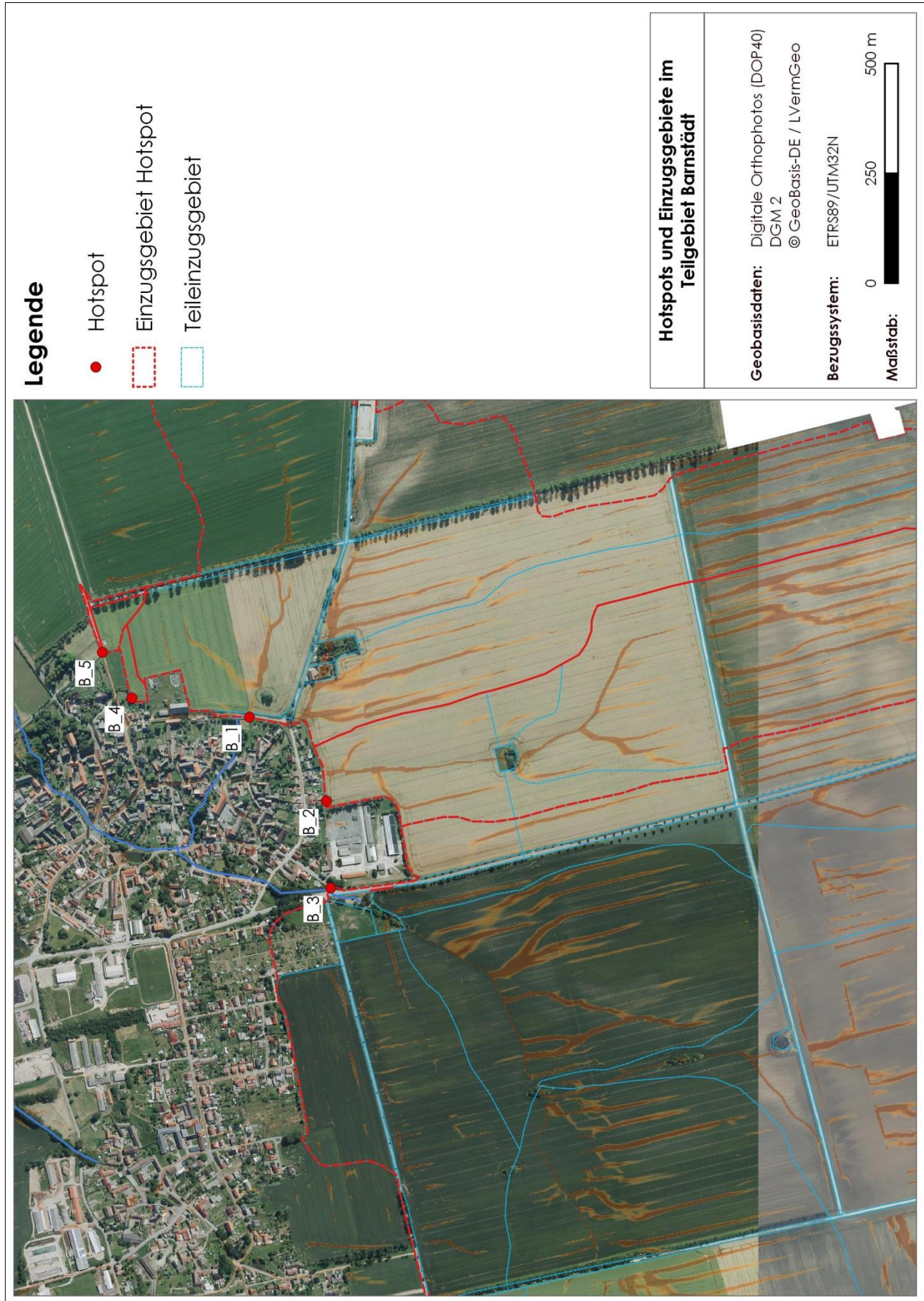


Abbildung 18: Teileinzugsgebiete und Hotspots als Bezugsräume für die Maßnahmenwirksamkeitsanalyse (Teilgebiet Barnstätt)

Tabelle 4: Bilanzierung von Oberflächenabfluss und Sedimentfracht im Teilgebiet Barnstädt

Teilgebiet: Barnstädt							
		Oberflächenabfluss				Sedimentfracht [t]	
		Gesamtabfluss [m³]		Scheitelabfluss [m³/s]			
Hotspot	Fläche [ha]	wc BB_{0%}	BB_{50%}	wc BB_{0%}	BB_{50%}	wc BB_{0%}	BB_{Stad}
B_1	93,9	22.174	20.211	3,1	2,7	727	397
B_2	59,4	13.909	12.615	1,8	1,6	1.192	851
B_3	478,0	113.458	102.693	10,5	9,4	4.592	1.976
B_4	0,5	112	101	0,0	0,0	2	1
B_5	1,2	285	268	0,1	0,1	9	6



Abbildung 19: Teileinzugsgebiete und Hotspots als Bezugsräume für die Maßnahmenwirksamkeitsanalyse (Teilgebiet Göhritz)

Tabelle 5: Bilanzierung der Maßnahmenwirksamkeit im Teilgebiet Göhriz

Teilgebiet: Göhriz							
		Oberflächenabfluss				Sedimentfracht [t]	
		Gesamtabfluss [m³]		Scheitelabfluss [m³/s]			
Hotspot	Fläche [ha]	wc BB_{0%}	BB_{50%}	wc BB_{0%}	BB_{50%}	wc BB_{0%}	BB_{Stad}
G_1	114,4	26.976	24.222	2,3	2,0	1.536	519
G_2	97,2	22.741	20.618	2,7	2,4	826	147
G_3	1,3	304	273	0,1	0,1	14	10
G_4	0,1	39	39	0,0	0,0	0	0
G_5	0,5	72	72	0,0	0,0	1	0
G_6	5,9	1.371	1.241	0,3	0,3	28	0

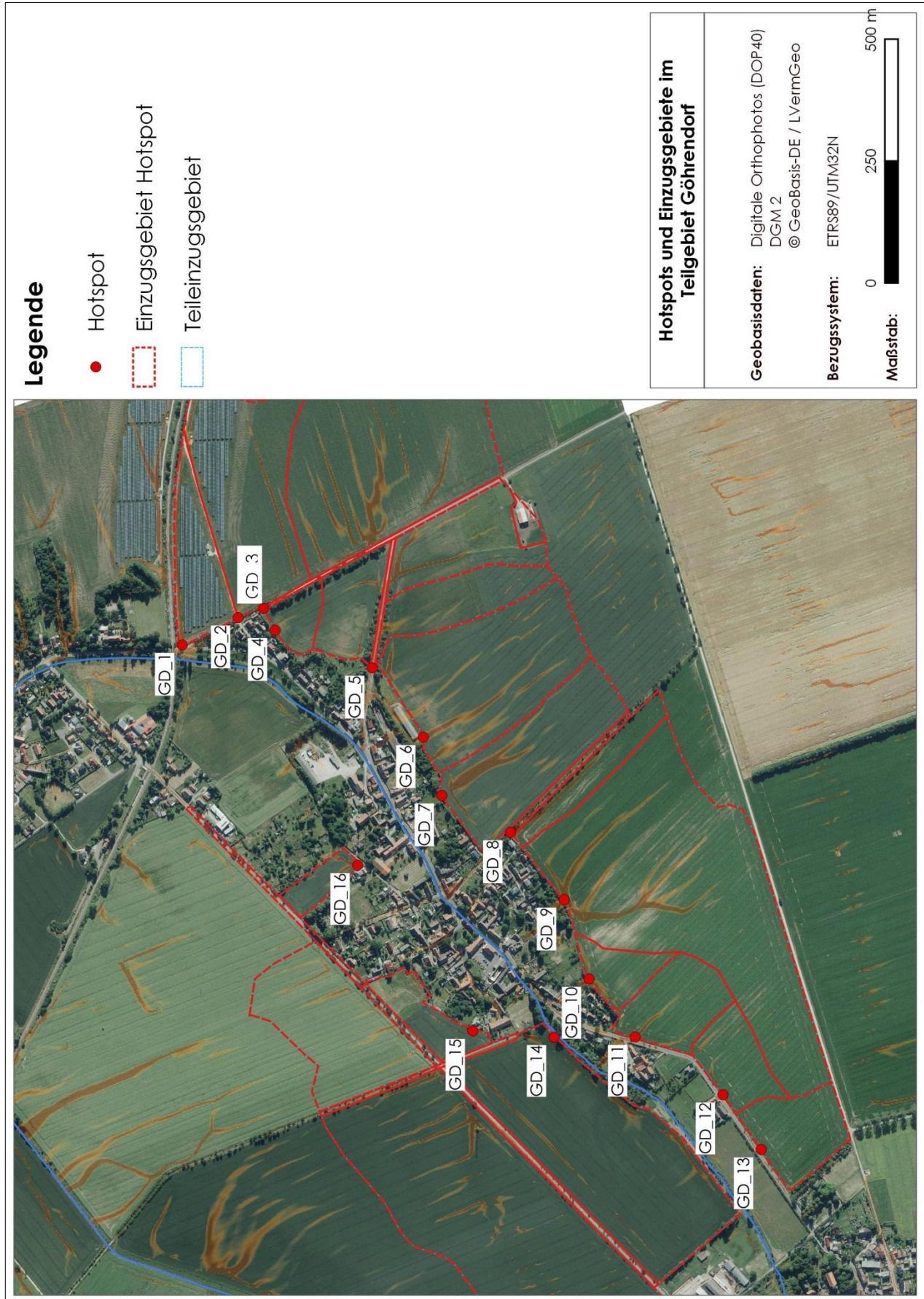


Abbildung 20: Teileinzugsgebiete und Hotspots als Bezugsräume für die Maßnahmenwirksamkeitsanalyse (Teilgebiet Göhrendorf)

Tabelle 6: Bilanzierung der Maßnahmenwirksamkeit im Teilgebiet Göhrendorf

Teilgebiet: Göhrendorf							
		Oberflächenabfluss				Sedimentfracht [t]	
		Gesamtabfluss [m³]		Scheitelabfluss [m³/s]			
Hotspot	Fläche [ha]	wc BB _{0%}	BB _{50%}	wc BB _{0%}	BB _{50%}	wc BB _{0%}	BB _{Stad}
GD_1	3,0	992	992	0,4	0,4	0	0
GD_2	8,1	1.876	1.700	0,5	0,4	73	1
GD_3	0,1	26	26	0,0	0,0	0	0
GD_4	1,1	267	236	0,1	0,1	10	0
GD_5	23,8	5.683	5.146	1,8	1,5	431	192
GD_6	9,2	2.152	1.926	0,8	0,6	68	1
GD_7	6,2	1.449	1.298	0,5	0,4	162	1
GD_8	2,5	608	561	0,2	0,2	61	0
GD_9	19,2	4.489	4.072	1,0	0,8	320	192
GD_10	1,5	359	310	0,1	0,1	32	23
GD_11	3,0	712	632	0,3	0,2	69	50
GD_12	2,3	533	480	0,2	0,1	25	18
GD_13	2,9	683	606	0,3	0,2	49	35
GD_14	38,4	8.967	8.262	1,6	1,4	223	159
GD_15	8,6	2.035	1.846	0,7	0,6	82	17
GD_16	1,5	384	361	0,1	0,1	14	10

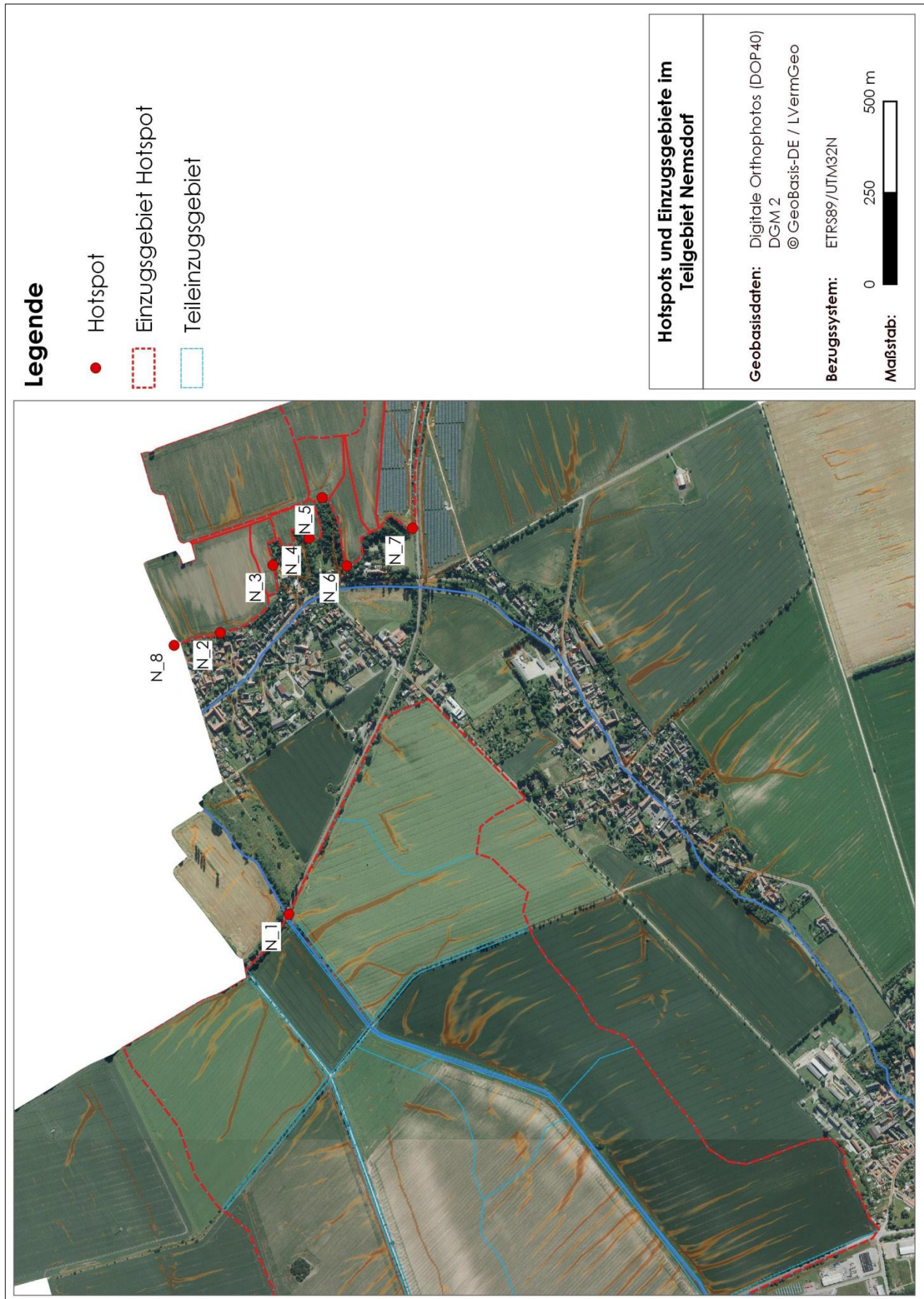


Abbildung 21: Teileinzugsgebiete und Hotspots als Bezugsräume für die Maßnahmenwirksamkeitsanalyse (Teilgebiet Nemtsdorf)

Tabelle 7: Bilanzierung der Maßnahmenwirksamkeit im Teilgebiet Nemsdorf

Teilgebiet: Nemsdorf							
		Oberflächenabfluss				Sedimentfracht [t]	
		Gesamtabfluss [m³]		Scheitelabfluss [m³/s]			
Hotspot	Fläche [ha]	wc BB_{0%}	BB_{50%}	wc BB_{0%}	BB_{50%}	wc BB_{0%}	BB_{Stad}
N_1	579,4	138.960	124.355	8,7	7,7	9.584	1.659
N_2	7,3	1.719	1.558	0,5	0,4	246	2
N_3	1,0	232	205	0,1	0,1	30	0
N_4	1,1	254	224	0,1	0,1	19	0
N_5	1,8	420	374	0,2	0,1	31	0
N_6	1,5	356	312	0,1	0,1	45	0
N_7	7,3	2.096	2.037	0,8	0,8	5	0
N_8	11,3	2.672	2.445	0,6	0,5	102	1

6 Grundsätze für die Erarbeitung eines abgestimmtes Maßnahmenkonzeptes

Die Modellergebnisse sind Grundlage für die zweistufige Erarbeitung eines Maßnahmenkonzeptes zur Verminderung bzw. Abführung von Sedimentfrachten und Oberflächenabfluss. Zunächst steht die Erstellung eines **konzeptionellen Maßnahmenvorschlages** (Erstvorschlag) mit folgenden Arbeitsschritten im Vordergrund:

- Diskussion vorhandener Erfahrungen der lokalen Akteure
- Sichtung vorliegender Entwürfe zu möglichen Maßnahmen
- Sichtung und Auswertung vorhandener Altkarten, Luft- und Satellitenbilder und Liegenschaftsunterlagen (ALK) zur Verifizierung alter Flurelemente
- Abgleich der historischen und aktuellen Nutzungs- und Entwässerungssituation und Identifizierung möglicher Landnutzungskonflikte

Weiterführend werden die Ergebnisse der Geländebegehungen und der Reliefanalyse einbezogen, der vorliegende Konzeptentwurf ergänzt bzw. geändert und für das Untersuchungsgebiet und die Teileinzugsgebiete (bezogen auf Hotspots) ein ganzheitlicher konzeptioneller Maßnahmenvorschlag erarbeitet. Die Maßnahmenvorschläge lassen sich wie folgt kategorisieren:

- **Bewirtschaftungsmaßnahmen** (u. a. Schlagunterteilung bei großen erosionswirksamen Hanglängen; Fruchtartenwechsel; hangparallele Bearbeitung; Umwandlung von Acker- in Grünland; ganzjährige Bodenbedeckung/ Zwischenfruchtanbau)
- **Landeskulturelle Maßnahmen** (v. a. Anlage und Erweiterung natürlicher und begrünter Barrieren, wie Querriegel, Grünstreifen, Hecken, Feldraine, Verwallungen, Mulden; Begrünung von Tiefenlinien; Ertüchtigung/Ausbau vorhandener Gräben)

Sofern die genannten Maßnahmenpakete keinen vollständigen Rückhalt ermöglichen, werden **ingenieurtechnische Maßnahmen** (Rekonstruktion von Durchlässen, Ertüchtigung/Unterhaltung Vorflutgräben; Anlage von Retentionsflächen, Regenrückhaltebecken) zur Ab- und Durchleitung bzw. zum Rückhalt von überschüssigen Oberflächenabflüssen empfohlen und verortet. Diese sind im Detail weiterführend durch ein geeignetes Fachbüro zu planen.

Die für die Ortslagen erarbeiteten Maßnahmengrundsätze wurden in einem Arbeitsgespräch mit der LLG, dem ALFF Süd, den betroffenen Bewirtschaftern und Vertretern der Verbandsgemeinde abgestimmt. Vorzunehmende Anpassungen und Veränderungen des Erstvorschlages münden in die Erarbeitung eines **abgestimmten Maßnahmenkonzeptes**.

Hinsichtlich der Bewertung und Nutzung eines Maßnahmenkonzeptes als Resultat der Untersuchungen sind folgende **Verallgemeinerungen und Planungsgrundsätze** zu beachten:

- Eine einhundertprozentige Sicherheit vor Überschwemmung und Sedimenteintrag kann nicht gewährleistet werden. Es verbleibt ein unvermeidbares Restrisiko.
- Sämtliche abgeleitete Empfehlungen beruhen auf Modellrechnungen und Annahmen aus der Fachliteratur.
- Problemwetterzellen nehmen zu und sind nicht lokalisierbar und vorhersehbar.
- Bodenabträge auf ackerbaulich genutzten Flächen lassen sich vermindern, jedoch nicht vollständig unterbinden. Bei ackerbaulicher Nutzung muss ein Restrisiko an Bodenerosion akzeptiert werden.
- Oberflächenabfluss tritt immer auf. Möglichkeiten zur Erhöhung des Gebietsrückhaltes sind sehr gering. Um einen Schutz urbaner Bereiche zu erzielen, muss das bei Starkregen- bzw. Extremereignissen immer

auftretende und zufließende Oberflächenwasser gefasst und durch geeignete inner- und außerörtliche Maßnahmen schadlos abgeführt werden.

- Zur Lösung der Probleme ist ein Aktionsbündnis aus Kommune, Bewirtschaftern, Unterhaltungsverbänden, Landesbetrieb für Hochwasserschutz (LHW), Baulastträger der Straßen und den Behörden des Landes und Landkreises erforderlich.
- Sämtliche Maßnahmen bedingen eine regelmäßige Unterhaltung, Instandsetzung und Beräumung, um Ihre Wirksamkeit dauerhaft zu gewährleisten.
- Eine effiziente und kostendeckende Landwirtschaft ist zu erhalten bzw. zu ermöglichen. Eine zwangsweise Einflussnahme auf die Bewirtschaftung der Flächen im Agrarraum ist nicht förderlich.
- Die Überzeugung durch Fakten und die Freiwilligkeit muss im Vordergrund stehen.

Liegt ein abgestimmtes Maßnahmenkonzept vor, dient eine **Wirksamkeitsanalyse** der Abschätzung der Wirkung der Maßnahmen hinsichtlich der Verminderung von Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Sedimentfrachten durch eine vergleichende Gegenüberstellung der Situation vor und nach der Einbindung der Maßnahmen. Die hierfür durchzuführende Neumodellierung erfolgt entsprechend des in Kapitel 4.5 ausgeführten Modellansatzes für die ausgewiesenen Teileinzugsgebiete unter Berücksichtigung der eingearbeiteten Maßnahmen (Szenarium – vgl. Kapitel 4.4) Hierzu wird die Parametrisierung der Input-Daten für das Erosions- und Abflussmodell unter Einbeziehung der vorgeschlagenen Flurelemente und Bewirtschaftungsmaßnahmen und ggf. eine Neuausgrenzung nutzungsdifferenzierter Teileinzugsgebiete, Knoten und Hotspots vorgenommen.

Für die Sedimentfrachten wird die Maßnahmenwirkung differenziert nach:

- Sedimentreduzierung durch Erosionsminderung in der Fläche (Flächenumwandlung, Verkürzung der erosiven Hanglänge)
- Sedimentrückhalt durch landeskulturelle Elemente (Retention)
- Resteintrag in das Vorflut- und Grabensystem sowie in Ortslagen und infrastrukturelle Einrichtungen

Ergänzend zu den oben aufgeführten Verallgemeinerungen, die Bewertung und weiterführende Nutzung der Ergebnisse betreffend, ergeben sich aus der Projektbearbeitung folgende wesentliche Erkenntnisse in Bezug auf die Risikosituation und die Maßnahmenplanung im **Untersuchungsgebiet**:

- Ein hoher Anteil des Erosionsgefahrenpotenzials lässt sich durch kostengünstige Bewirtschaftungsmaßnahmen realisieren, wie
 - Schlagunterteilung
 - Verkürzung von erosiven Hanglängen
 - Änderung der Bewirtschaftungsrichtung
 - Fruchtfolgen mit langem, möglichst ununterbrochenem Bedeckungsgrad.
- Maßnahmenkonzepte zur Minderung oder Verhinderung der Erosion in der Fläche können nur durch Überzeugung der Betroffenen und der Bewirtschafter umgesetzt werden. Hierzu sind Fakten zur Berechnung von Sedimentfrachten, Wassermengen und Abflussbahnen erforderlich, um das Gefahrenpotenzial zu verdeutlichen.
- Die Umsetzung von Maßnahmenkonzepten zur Erosionsminderung und zur Wasserabflussregulierung verursacht eine hohe Kostenbelastung bei allen Beteiligten.
- Alle Maßnahmenkonzepte sind nur unter Berücksichtigung des Interessenausgleichs zwischen den Kommunen und **allen** Bewirtschaftern zu erreichen.

Das Untersuchungsgebiet Barnstädt/Nemsdorf-Göhrendorf wurde in der Vergangenheit durch eine Vielzahl von wasserbaulichen, meliorativen und landeskulturellen Maßnahmen überprägt. Dies führte einerseits zu großen Schlageinheiten, die bedingt durch die entstandenen erosiven Hanglängen eine erhöhte Erosionsgefährdung aufweisen. Andererseits wurden durch wasserbauliche und landeskulturelle Maßnahmen in großen Teilen des geplanten Verfahrensgebietes die Voraussetzungen für eine weitestgehend schadlose Abführung von Stark- und Extremabflüssen durch die Feld- und Ortslagen geschaffen bzw. der Sedimentrückhalt in den Feldlagen erhöht. In den Jahren nach 1990 kam es aufgrund mangelnder Unterhaltung/Instandsetzung, Flächenumnutzung sowie Überbauungen zu Einschränkungen in der Funktionstüchtigkeit dieser Systeme.

Ziel der Planungen im Untersuchungsgebiet muss demzufolge die Erarbeitung von Maßnahmen zum Erosionsschutz, der Abführung von Starkregenabflüssen und Sturzfluten sowie der Verbesserung der gegenwärtigen Agrarstruktur, einschließlich der Landeskultur sein. Ein weiterer Schwerpunkt der Planungen besteht in der Wiederherstellung der Funktionalität der bestehenden Systeme sowie der Verknüpfung und Anpassung der beiden Planungen.

Hinweise zur Anpassung der Bewirtschaftungssysteme wurden lediglich in den Fällen erarbeitet, für die ein dringender Handlungsbedarf aus Sicht des vorbeugenden Bodenschutzes besteht. Darüber hinaus ist zu empfehlen, dass durch die Landwirtschaftliche Fachstelle des ALFF Süd, ergänzend zu den landeskulturellen Maßnahmen, flächendeckende Hinweise zur Verbesserung des Erosionsschutzes durch eine Anpassung der Größe der Bewirtschaftungsschläge und Etablierung von Fruchtfolgen/Fruchtartenwechseln zur Erhöhung einer innerjährlich hohen Bodenbedeckung in den Einzugsgebieten erarbeitet und mit den Landwirten umgesetzt werden.

7 Flächenmobilisierung und -sicherstellung zur Umsetzung der notwendigen Vorsorgemaßnahmen

Im Ergebnis einer landeskulturellen Komplexmaßnahme in den 1970er Jahren, im Rahmen derer umfangreiche Schutzmaßnahmen gegen Wind- und Wassererosion geplant und umgesetzt wurden, verfügt das Untersuchungsgebiet über eine sehr hohe Biotopausstattung, wie diese ansonsten für die Naturraumeinheit Querfurter Platte untypisch ist.

Diese Schutzmaßnahmen umfassen mehrreihige Windschutzstreifen, Gehölzgruppen in Abflussbahnen und Grünstreifen mit Fanggräben. Während sich die Windschutzstreifen und Gehölzgruppen in einem guten Zustand befinden, sind die Fanggräben weitestgehend untergegangen und nicht mehr funktionstüchtig. Die Biotopausstattung stellt sich wie folgt dar:

Kategorie	Fläche
Mehrreihige Windschutzpflanzungen	6,14 ha
Gehölzgruppen	3,59 ha
Grünstreifen mit Fanggräben	0,41 ha
Gesamt Bestand	10,14 ha
Flächenbedarf Planung	0,60 ha
Gesamt	10,74 ha

Tabelle 8: Bilanzierung der Biotopausstattung im Untersuchungsgebiet

Keines der Flurelemente des gegenwärtigen Bestandes ist mit seiner Gesamtfläche katasterrechtlich gesondert ausgewiesen, d. h. sie sind weiterhin Bestandteil der jeweiligen (Acker)flurstücke und werden in der Regel bis auf wenige Ausnahmen von den Landwirten mit gepachtet.

Für die Umsetzung der geplanten Maßnahmen ist die dauerhafte Sicherstellung der Flächen mit den vorhandenen und geplanten Flurelementen und Meliorationsanlagen eine unbedingte und notwendige Voraussetzung. Nur so ist eine Funktionstüchtigkeit des Gesamtsystems der Vorsorgemaßnahmen gewährleistet.

In anderen von Sturzfluten und Erosionsschadfällen betroffenen Gebieten Sachsen-Anhalts wurden/werden zur Umsetzung von Maßnahmen zur Vorsorge und Gefahrenabwehr ausgehend von den Erkenntnissen aus dem Pilotgebieten Riestedt/Pölsfeld Flurbereinigungsverfahren eingeleitet. Durch diese Verfahren werden die benötigten Flächen katasterrechtlich ausgegrenzt und gebunden und somit eine dauerhafte Nutzungsbindung gewährleistet.

Aufgrund der Dauer und Kosten, die mit der Umsetzung eines Flurbereinigungsverfahrens verbunden sind, ist zu eruieren, inwieweit unterhalb bzw. außerhalb von Flurbereinigungsverfahren durch andere Instrumente eine Mobilisierung und dauerhafte Sicherstellung umgesetzt und durch die zuständigen Behörden, insbesondere die ÄLFF und Umweltbehörden der Landkreise begleitet werden können. Hierbei muss sich der Fokus auf folgende Instrumente richten:

- Freiwilliger Landtausch
 - Hierbei ist zu prüfen, ob eine Flächenmobilisierung durch ein einfaches und schnelles Flächentauschverfahren nach § 103a FlurbG möglich ist. Insbesondere wenn ganze Grundstücke ohne Trennmessung getauscht werden können, bietet sich das Verfahren nach § 103 a FlurbG an. In diesem Fall könnte das ALFF die Gespräche mit den Beteiligten führen und den Flächentausch vollziehen, wenn allseits Einvernehmen besteht.

- Dienstbarkeit
 - Scheitert ein Flächentausch, da kein echter Tausch möglich ist, so sind die zivilrechtlichen Möglichkeiten der Dienstbarkeitsbestellung zu prüfen. Hier könnte das ALFF eine Empfehlung erarbeiten, auf deren Grundlage die Beteiligten dann selbständig (Eigentümer, Kommune, Zweckverband) tätig werden müssten.
- Funktionale Sicherstellung und Verpflichtung der Grundstückseigentümer

Diese Instrumente fanden in Sachsen-Anhalt bis dato für die Umsetzung von Erosionsschutzmaßnahmen keine nennenswerte Anwendung, sodass hierzu keine Erfahrungen vorliegen und Neuland betreten werden würde. Darüber hinaus ist mit der zuständigen Naturschutzbehörde des Landkreises abzustimmen, welchen naturschutzrechtlichen Status die vorhandenen Flurelemente aufweisen und ob Eingriffe zur Verbesserung der Biotopstruktur mitgetragen werden.

8 Literatur

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland [Hrsg.]. Hannover.

ALDER, S., HERWEG, K., LINIGER, H. UND V.PRASUHN (2013): Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Gewässeranschlusskarte der Erosionsrisikokarte der Schweiz (ERK2) im 2x2-Meter-Raster. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Bundesamtes für Landwirtschaft (BGS) der Schweiz.

ARGE IPRO MISB GEOFLUX (2013): Pilotvorhaben „Standortkundliches Gutachten und Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen als fachliche Grundlage für ein Flurbereinigungsverfahren Riestedt und Pölsfeld“ (Abschlussbericht, unveröff). Halle.

BACH, M., FABIS, J. UND H.-G. FREDE (1997): Filterwirkung von Uferstreifen für Stoffeinträge in Gewässer in unterschiedlichen Landschaftsräumen. - Mitteilungen des DVWK 28. Bonn

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (2017): DIN 19708:2017-08 - Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. Beuth-Verlag. Berlin.

DUNGER, V. (2002): Dokumentation des Modells BOWAM (Version 2002) zur Simulation des Wasserhaushaltes in der wasserungesättigten Bodenzone (Aerationszone).

DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V. (1991): Beitrag zur Bestimmung des effektiven Niederschlags für Bemessungshochwasser aus Gebietskenngrößen. - DVWK-Materialien 2/1991, DVWK, Bonn.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2015): Wasserrückhalt in der Fläche durch Maßnahmen in der Landwirtschaft – Bewertung und Folgerungen für die Praxis. – DWA-Themen 05/2015. Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2006): ATV-RegeGSerk A 118 - Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Hennef.

DWD CLIMATE DATA CENTER (2015): Raster der Wiederkehrintervalle für Starkregen (Bemessungsniederschläge) in Deutschland (KOSTRA-DWD 2010), Version 2010R.

FABIS, J. (1995): Retentionsleistung von Uferstreifen im Mittelgebirgsraum. - Boden und Landschaft - Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie 12. Gießen.

FREEMAN, T.G. (1991): Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. - Computers and Geoscience, Bd. 17, 3: 413-422.

HÜRDLER, J., PRASUHN, V. UND E. SPIESS (2015): Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz. Bericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

LAWA - LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (2018): LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenisikomanagement. Erfurt.

LEE (1980): "Digital Image Enhancement and Noise Filtering by Use of Local Statistics", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume PAMI-2, Number 2: 165-168.

LLG – LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (2018): Beratungsleitfaden Bodenerosion und Sturzfluten - Lokale Kooperation zwischen Landwirten und Gemeinden sowie weiteren Akteuren zur Vermeidung von Bodenerosion. – Schriftenreihe der LLG, 1/2018.

MANIAK, U. (2010): Hydrologie und Wasserwirtschaft. - Springer-Verlag, 6. Auflage, Berlin Heidelberg.

- MÖLLER, M. UND W. THIELE (2014): Hydrologische Gutachten für Thüringer Talsperren. - Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG): Hochwasserabflüsse in Thüringen -Informationsveranstaltung vom 05.11.2014. Erfurt.
- MOORE, I. UND J. WILSON (1992): Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation. - Journal of Soil and Water Conservation, 47(5), 423–428.
- SARTOR, J. (1997): Weiterentwicklung der Langzeit-Seriensimulation des Niederschlag-Abfluss-Prozesses für kanalisierte und natürliche Einzugsgebiete. – Wasserwirtschaft, 5.
- SCHINDLER, UWE (2004): Bodenhydrologische Kennwerte heterogener Flächeneinheiten. Fachbeiträge des Landesumweltamtes des Landes Brandenburg – 87.
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W. UND M.KAINZ (1990): Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2.Aufl. Stuttgart.
- SCHREY, HEINZ-PETER (2008): Die bodenartenspezifischen Kennwerte der KA4. Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen. Krefeld.
- STEININGER, M.; SCHMIDT, G. UND D.WURBS (2013): Monitoring der Wirkung von Schutzmaßnahmen gegen Wassererosion. Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau. Abschlussbericht (unveröff.). Halle.
- STEININGER, M.; SCHMIDT, G.; KOSCHITZKI, T. UND D.WURBS (2019): Abschätzung des wassererosionsbedingten Sedimentaustrages und des sedimentgebundenen P-Austrages in die Fließgewässer Sachsen-Anhalts. - LLG – LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU SACHSEN-ANHALT [Hrsg]: Schriftenreihe der LLG, 1/2019.
- US-SCS U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1972): SCS National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. USDA, Washington D.C.
- US-SCS U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1985): SCS National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. USDA, Washington D.C.
- US-SCS U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1986): Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55, Washington D.C., pp. 2.5 - 2.8.
- VOLK, M., MÖLLER, M. UND D. WURBS (2010): A pragmatic approach for soil erosion risk assessment within policy hierarchies. – Land Use Policy, 27, 997-1009.
- WILLIAMS J.R., SMITH, S.J., MENZEL, R.G. UND G.A. COLEMAN (1984): Prediction of sediment-yield from Southern Plains Grasslands with the Modified Universal Soil Loss Equation. – Journal of Range Management, 37/4, 295-197.
- WURBS, D., KOSCHITZKI, T., UND M. MÖLLER (2007): ABAGflux – ein hierarchischer Modellansatz zur Maßnahmenplanung im Boden- und Gewässerschutz. Mittlg. Dt. Bodenkdl. Ges., 110, 721–722.
- ZHANG, Y.; DEGROOTE, J.; WOLTER, C. UND SUGUMARAN, R. (2009): Integration of modified universal soil loss equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk. - Land Degradation & Development, Vol. 20/1, 84–91.
- ZILLGENS, B. (2001): Simulation der Abflussverminderung und des Nährstoffrückhaltes in Uferstreifen. - Boden und Landschaft - Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie 34. Gießen.
- WURBS, D. UND M. STEININGER (2018): Ein MUSLE-basierter Ansatz zur Bewertung der Wassererosions- und Sturzflutgefährdung - Bodenschutz, 4/2018.

Impressum

- Herausgeber: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt
Strenzfelder Allee 22
06406 Bernburg
Telefon: 03471/334 0
Fax: 03471/334 105
E-Mail: Poststelle@llg.mule.sachsen-anhalt.de
Website: <https://www.llg.sachsen-anhalt.de>
- Redaktion: Dr. Daniel Wurbs
Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt
E-Mail: daniel.wurbs@llg.mule.sachsen-anhalt.de
- Autoren: Dr. Michael Steininger
Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz (MISB)
Paracelsusstraße 7a - 06114 Halle (Saale)
Telefon: 0345-5505764
E-Mail: m.steininger@bodensachverstaendige.de
Website: <http://www.bodensachverstaendige.de>
- Dr. Daniel Wurbs
Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt
Strenzfelder Allee 22 - 06406 Bernburg
Telefon: 03471/334 218
Fax: 03471/334 105
E-Mail: daniel.wurbs@llg.mule.sachsen-anhalt.de
- Foto Titelseite: Dr. Daniel Wurbs (LLG)
- Abbildungen: <https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/> - Abbildung 4
Mitteldeutscher Rundfunk - Abbildung 8
- Geobasisdaten: LVermGeo LSA (www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de) / 010312
Abbildungen 1, 2, 3, 5, 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21
- Stand: 31.01.2021
- ISSN: 2511-5855

Rechtshinweis:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Nachdruck, Vervielfältigung und Nutzung, auch auszugsweise, ist nur unter Quellenangabe gestattet.

