

DBU Projekt AZ 15877

„Innovativer Ansatz eines vorbeugenden Hochwasserschutzes durch dezentrale Maßnahmen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sowie der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße“

ENDBERICHT

Gefördert durch die
Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Osnabrück

Februar 2002

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. F. Sieker

Universität Hannover

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau

Appelstr. 9A, 30167 Hannover

Tel. 0511/762-2237/2557, Fax. 0511/762- 3731

E-mail: f.sieker@t-online.de

Projektpartner:

- (W) Universität Hannover, Institut für Wasserwirtschaft,
Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau
Prof. Dr.-Ing. F. Sieker
Bearbeiter: Dipl.-Ing. D. Wilcke
Appelstr. 9a, 30167 Hannover
Tel. 0511/762-2287, Fax. 0511/762- 3731
E-mail: d.wilcke@sieker.de
- (B) Universität Hannover, Institut für Bodenkunde
Prof. Dr.-Ing. R. van der Ploeg
Bearbeiter: Dipl.-Geogr. M. Akkermann, Dipl.-Geogr. M. Gieska
Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover
Tel. 0511/762-2622, Fax. 0511/762- 5749
E-mail: vdploeg@ifbk.uni-hannover.de
- (R) Brandenburgische Technische Universität Cottbus,
Lehrstuhl Abwassertechnik, Prof. Dr.-Ing. M. Burde
Bearbeiter: Dipl.-Ing. S. Panebianco
Karl-Marx-Str. 17, 03013 Cottbus
Tel. 0355/ 69 - 4302, Fax. 0355/ 69 - 3025
E-mail: abwassertechnik@TU-Cottbus.de
- (W) Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH,
Dr.-Ing. H. Sieker
Bearbeiter: Dipl.-Geogr. S. Bander mann
Berliner Str. 71, 15366 Dahlewitz-Hoppegarten
Tel. 03342/ 3595 - 0, Fax. 03342/ 3595 - 29
E-mail: s.bander mann@sieker.de
- (L) Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau, Dr. Walter A. Schmidt
Bearbeiter: Dipl.-Ing. agr. B. Zimmerling
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Tel. 0341/ 9174 - 116, Fax. 0341/ 9174 - 111
E-mail: walter.schmidt@leipzig.lfl.smul.sachsen.de

Hinweis: Die in Klammern aufgeführten Buchstaben sind an den Überschriften der Kapitel wiederzufinden und geben Auskunft über den Autor.

Inhaltsverzeichnis:

1	EINFÜHRUNG	1
2	LEITGEDANKE DES VORBEUGENDEN HOCHWASSERSCHUTZES (W,L)	3
2.1	Definition (W)	3
2.2	Wirkungsweise dezentraler Maßnahmen und Auswirkungen auf die Hochwasserentstehung (W)	4
2.3	Einfluss verstärkter Infiltration auf die unterirdischen Wasserverhältnisse (W)..	7
2.4	Umsetzung des Leitgedankens in urbanen Gebieten (W).....	11
2.4.1	Grundsätzliche Auswirkungen auf den Hochwasserschutz.....	12
2.4.2	Motivation für dezentrale Maßnahmen in urbanen Gebieten.....	13
2.5	Umsetzung des Leitgedankens in landwirtschaftlich genutzten Gebieten (L) ...	14
2.5.1	Definitionen - Wirkungszusammenhänge.....	14
3	BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES (W,B,L)	18
3.1	Landnutzung und Gewässersystem (W)	18
3.2	Pedologie (B).....	20
3.2.1	Bodeninventar des Einzugsgebietes der Lausitzer Neiße.....	20
3.2.2	Bodenkennwerte für die Modellierung des Abflussgeschehens mit dem Simulationsmodell NASIM	22
3.3	Landwirtschaftliche Flächennutzung (L).....	27
4	VORBEUGENDER HOCHWASSERSCHUTZ IN URBANEN GEBIETEN (W)	29
4.1	Generelle Entwässerungsplanung im Sinne eines vorbeugenden Hochwasserschutzes am Beispiel der Stadt Zittau	29
4.2	Schmutzfrachtberechnung unter Anwendung des Simulationsprogramms STORM®	30
4.3	Erstellung einer Regenwasserbewirtschaftungskarte	33
4.4	Erstellung der Abkopplungspotentialkarte	36
4.5	Aufstellung und Berechnung der Abkopplungsszenarien.....	39
4.5.1	Abkopplungsszenario 1	40
4.5.2	Abkopplungsszenario 2	40
4.6	Ergebnisse der Fallbeispiels Zittau	42
5	VORBEUGENDER HOCHWASSERSCHUTZ IN LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTEN GEBIETEN (L)	43
5.1	Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wasserinfiltration.....	43
5.1.1	Hypothesen.....	44
5.2	Infiltrationsunterschiede zwischen konservierend und konventionell bearbeiteten Ackerflächen	45
5.2.1	Methodik	45
5.2.2	Einfluss der Bodenbearbeitung auf Infiltration	55
5.3	Umsetzungspotenziale der konservierenden Bodenbearbeitung	70

6 NIEDERSCHLAGS-ABFLUSS-MODELLIERUNG BEI VERSCHIEDENEN BEWIRTSCHAFTUNGSSZENARIEN (W)	71
6.1 Methodik.....	71
6.1.1 Modelltechnik	72
6.1.2 Datenbeschaffung	76
6.1.3 Datenaufbereitung mit Hilfe Geographischer Informationssysteme	83
6.2 Beschreibung der modelltechnischen betrachteten Gebiete	84
6.2.1 Testgebiet Berthelsdorfer Wasser	85
6.2.2 Testgebiet Pließnitz.....	88
6.2.3 Sächsisches Einzugsgebiet zwischen Zittau und Görlitz.....	91
6.3 Berechnung der Abflussgeschehens im Ist-Zustand	95
6.4 Szenarien des vorbeugenden Hochwasserschutzes	101
6.4.1 Entwicklung von Umsetzungsszenarien.....	101
6.4.2 Ergebnisse der Niederschlags-Abfluss-Berechnungen unter Berücksichtigung der konservierenden Bodenbearbeitung	103
6.5 Auswirkungen auf die Hydraulik der Lausitzer Neiße am Beispiel Ostritz/ St. Marienthal	106
6.6 Extremwertstatistische Auswertung der Abflussberechnungen im Ist-Zustand und bei konservierender Bodenbearbeitung	109
6.7 Diskussion der Ergebnisse der Niederschlags-Abfluss-Simulation	110
7 RAUMPLANERISCHE ASPEKTE ZUR UMSETZUNG DES VORBEUGENDEN HOCHWASSERSCHUTZES (R)	112
7.1 Rechtliche und verwaltungstechnische Aspekte eines vorbeugenden dezentralen Hochwasserschutzes	112
7.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen und Umsetzungsinstrumente in Deutschland	112
7.1.2 Hochwasserschutz in Polen und Tschechien	146
7.2 Räumliche Konkretisierung nach Auswertung des Ist-Zustands.....	156
7.2.1 Vorgehensweise	156
7.2.2 Auswahl prioritärer Teileinzugsgebiete	157
7.2.3 Interpretation der Ergebnisse.....	162
7.2.4 Verortungskonzept.....	166
8 ZUSAMMENFASSUNG	173
9 LITERATUR	175
9.1 Gesetze und untergesetzliche Regelungen	182
10 ANHANG	184

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Aufteilung des Niederschlags [SCHRÖDER ET AL., 1994], Wirkungsweise zentraler – und dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen	5
Abbildung 2: Leitfähigkeit von Hochwasserwellen in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte und dem maximalen Abfluss [KREIN, 2000].....	9
Abbildung 3: INNODRAIN® - Weiterentwickeltes Mulden-Rigolen-Element zur Regenwasserbewirtschaftung im Straßenbereich.....	12
Abbildung 4: Definition der Bodenbearbeitungsverfahren (KTBL 1998)	15
Abbildung 5: Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße.....	19
Abbildung 6: Bodenkarte mit dem sächsischen Teil der Neiße. Untersucht wurde vor allem das Teilgebiet südlich von Niesky/Görlitz, da in diesem Bereich lössbürtige Bodengesellschaften überwiegen. Nördlich schließen sich sandige Bodenformationen an, die für die Entstehung von Hochwasser weniger relevant sind. (BÜK 400, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 1993)	26
Abbildung 7: Fruchtartenanteile an der Ackerfläche im Landkreis Löbau-Zittau (InVeKos 2001)	27
Abbildung 8: Regenwasserbewirtschaftungskarte für die Stadt Zittau	35
Abbildung 9: Abkopplungspotentialkarte für die Stadt Zittau	39
Abbildung 10: Setup zur Niederschlagssimulation	48
Abbildung 11: Beregnungsparzelle	49
Abbildung 12: Horizontalschnitt in 5 cm Tiefe (Farbtracermuster).....	51
Abbildung 13: Horizontalschnitt in 50 cm Tiefe (Farbtracermuster).....	54
Abbildung 14: Das Vordringen von Infiltrationswasser auf einen Zuckerrübenschlag bei konventioneller und einjähriger konservierender Bodenbearbeitung (Farbtracermuster) ...	63
Abbildung 15: Das Vordringen von Infiltrationswasser auf einen Zuckerrübenschlag bei konventioneller und mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung (Farbtracermuster)	65
Abbildung 16: Das Vordringen von Infiltrationswasser auf einen Wintergerstenschlag bei konventioneller und mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung (Farbtracermuster)	66
Abbildung 17: Einfluss unterschiedlicher Vorfrüchte auf die Infiltration	67
Abbildung 18: Einfluss unterschiedlicher Art und Weise der konservierenden Bodenbearbeitung auf die Infiltration	68
Abbildung 19: Einfluss des unterschiedlichen Zeitpunktes nach der konventionellen Bodenbearbeitung auf die Infiltration	69
Abbildung 20: Digitales Geländemodell (DGM) des Einzugsgebietes Berthelsdorfer Wasser .	79
Abbildung 21: Digitales Landschaftsmodell (DLM) des Einzugsgebietes Berthelsdorfer Wasser	80
Abbildung 22: Digitale landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK) des Einzugsgebietes Berthelsdorfer Wasser.....	80
Abbildung 23: Digitale landwirtschaftliche Standortkartierung (FSK/ WBK) des Einzugsgebietes Berthelsdorfer Wasser.....	81
Abbildung 24: Abfluss am Pegel Görlitz mit unterschiedlichen Zeitschritten berechnet	83

Abbildung 25: Einzugsgebiet des Berthelsdorfer Wassers	86
Abbildung 26: Landnutzungsklassen und Teileinzugsgebiete im Testgebiet Berthelsdorfer Wasser	87
Abbildung 27: Landnutzungsverteilung im Testgebiet Berthelsdorfer Wasser	88
Abbildung 28: Deutscher Teil der Lausitzer Neiße im Bereich Zittau - Görlitz	89
Abbildung 29: Landnutzungsklassen und Teileinzugsgebiete im Testgebiet Pließnitz	90
Abbildung 30: Landnutzungsverteilung im Testgebiet Pließnitz	90
Abbildung 31: Landnutzungsklassen und Teileinzugsgebiete im sächsischen Einzugsgebiet zwischen Zittau und Görlitz	92
Abbildung 32: Landnutzungsverteilung im sächsischen Einzugsgebietes zwischen Zittau und Görlitz	93
Abbildung 33: Abfluss am Pegel Görlitz bei unterschiedlicher Berücksichtigung der Zuflüsse aus Polen	94
Abbildung 34: Kalibrierungsergebnis für das Testgebiet des Berthelsdorfer Wassers	97
Abbildung 35: Aufteilung des Gebietsabflusses des Berthelsdorfer Wassers	98
Abbildung 36: Kalibrierungsergebnis für das Testgebiet Pließnitz	99
Abbildung 37: Berechnungsergebnis für des Gesamteinzugsgebiet zwischen Zittau und Görlitz – Hochwasserereignis Juli 1997	99
Abbildung 38: Berechnungsergebnis für die Pließnitz – Hochwasserereignis Juli 1981	100
Abbildung 39: Berechnungsergebnis für das Gesamtgebiet – Hochwasserereignis Juli 1981	101
Abbildung 40: Auswirkung der konservierenden Bodenbearbeitung auf den Abfluss im Testgebiet Pließnitz	104
Abbildung 41: Auswirkung der konservierenden Bodenbearbeitung auf den Abfluss des Gesamtgebietes – Hochwasserereignis 1981	105
Abbildung 42: Auswirkung der konservierenden Bodenbearbeitung auf den Abfluss am Kloster St. Marienthal – Hochwasserereignis 1981	107
Abbildung 43: Extremwertstatistische Betrachtung der Abflüsse am Kloster St. Marienthal ..	110
Abbildung 44: Oberflächenabfluss im Ist-Zustand	160
Abbildung 45: Prozentuale Verringerung des Oberflächenabflusses durch dezentrale Maßnahmen	161
Abbildung 46: Prioritätenkarte	162
Abbildung 47: Zusammenhang zwischen Oberflächenabfluss und Anteil der Ackerfläche	164
Abbildung 48: Zusammenhang zwischen Rückgang des Oberflächenabflusses und Anteil der Ackerfläche	165
Abbildung 49: Zusammenhang zwischen Gesamtabfluss und Anteil der Ackerfläche	166
Abbildung 50: Flurdurchgrünung	168
Abbildung 51: Anlage von Wald und Grünflächen	169
Abbildung 52: Verbauung von Leitlinien	170
Abbildung 53: Gewässerrandstreifen	171
Abbildung 54: Wegeführung am Hang	172

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Katalog dezentraler Maßnahmen	4
Tabelle 2: Einige bodenphysikalische Parameter der wichtigsten Bodenformationen im sächsischen Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße als Eingangsdaten für das Modell NASIM.	25
Tabelle 3: Kenndaten der Teileinzugsgebiete des Entwässerungsnetzes der Stadt Zittau.....	31
Tabelle 4: Regenwasserzuflüsse von Gemeinden aus dem Umland Zittaus	32
Tabelle 5: Mittlere Versiegelungsgrade für unterschiedliche Baustrukturtypen in Zittau	32
Tabelle 6: Vorhandene Speicherbauwerke im Entwässerungsnetz Zittaus	33
Tabelle 7: Bodenkenndaten im Bereich Zittau.....	34
Tabelle 8: vorläufige Abkopplungspotentiale für verschiedene Baustrukturtypen	37
Tabelle 9: korrigierte Abkopplungspotentiale für verschiedene Baustrukturtypen (nach der Kartierung)	38
Tabelle 10: Potentielle Abkopplungsflächen für das Szenario 2 (Die Summe aus Spalte „MRS“ und „MRE“ ergibt die Flächen für Szenario 1)	41
Tabelle 11: Bodenbearbeitungsversuche mit einjähriger konservierender Bodenbearbeitung.	46
Tabelle 12: Bodenbearbeitungsversuche mit mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung	47
Tabelle 13: Aufstellung der notwendigen bzw. wünschenswerten Flächendaten bei optimaler Datenlage.....	77
Tabelle 14: Zuflüsse zum sächsischen Einzugsgebiet	93
Tabelle 15: Modellparameter für die Landnutzungsklassen	96
Tabelle 16: Abflussvolumina und Oberflächenabfluss des deutschen Einzugsgebietes im Vergleich zwischen Ist-Zustand und Umsetzungsszenarien (die Prozentwerte sind die Differenz zum Ist-Zustand)	106
Tabelle 17: Abflussvolumina und Oberflächenabfluss für das deutsche Einzugsgebiet bis zum Kloster St. Marienthal im Vergleich zwischen Ist-Zustand und Umsetzungsszenarien (die Prozentwerte sind die Differenz zum Ist-Zustand)	108
Tabelle 18: Nennungen der Themen in Regionalplänen	116
Tabelle 19: Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege gemäß § 2 des Bundesnaturschutzgesetzes bzw. des Entwurfs des Bundesnaturschutzgesetzes	130
Tabelle 20: Häufigkeitsverteilung in den Klassen und Vergabe von Prioritäten	161
Tabelle 21: Merkmale der Prioritätenklassen	163

1 Einführung

Ursprung dieses Projektes ist das Kloster St. Marienthal an der Lausitzer Neiße. Bei extremen Hochwasserereignissen, die in unregelmäßigen mehr oder weniger großen zeitlichen Abständen immer wieder auftreten, kommt es zu Überflutungen des historischen Klostergeländes. Genauso betroffen von den extremen Wasserständen ist die Stadt Ostritz, die in unmittelbarer Nachbarschaft zum Kloster in der Aue der Lausitzer Neiße liegt.

Als Konsequenz aus den erlittenen Schäden an Gebäuden und Infrastruktur fordern die Verantwortlichen des betroffenen Ortes einen objektbezogenen Hochwasserschutz, der jedoch nicht auf die generelle Zustimmung bei allen Beteiligten trifft. Abgesehen von dem hohen finanziellen Aufwand befürchten die Kritiker eine Verschärfung der Hochwasserstände für den Bereich unterhalb der Stadt Ostritz.

Auch wenn aus der Sicht der Betroffenen die Ablehnung von Hochwasserschutzbauwerken zum Schutz ihrer Existenz unverständlich und unmenschlich erscheint, so existieren aus klassisch hydrologischer Sicht und nach Berücksichtigung aller Schadenspotenziale entlang der Lausitzer Neiße durchaus Gründe für die Erhaltung von Überschwemmungsflächen. Es besteht kein Zweifel, dass sich jede Einengung eines bisher vorhandenen Überschwemmungsraumes zu Lasten des Unterliegerbereichs auswirkt, in dem die Wassermengen, die bisher oberhalb gespeichert wurden, nunmehr innerhalb der Hochwasserwelle abfließen und im Unterliegerbereich zu einer Erhöhung der Wasserstände führen.

Ausgehend von diesem konkreten Konflikt zwischen lokalen und überregionalen Interessen hat das DBU-Forschungsvorhaben das Ziel, Hochwasserschutzmaßnahmen zu untersuchen, die nicht nur auf die Überschwemmungsflächen in den Auen der Flüsse fixiert sind, sondern dort wirken, wo der Hochwasserabfluss der Gewässer entsteht. Gemeint sind die landwirtschaftlichen Nutzflächen und Siedlungsgebiete, von deren Oberflächen und aus deren Entwässerungskanälen Niederschlagswasser den Bächen und Flüssen mehr oder weniger unverzögert zufließt.

Die Abkehr von der Vorstellung, dass nur auf den Bach- und Flussauen der Kampf gegen die Hochwasserwelle stattfindet, eröffnet historischen Siedlungsgebieten wie der Stadt Ostritz, dem Kloster St. Marienthal und dem Großteil der existierenden, traditionell im Tal angesiedelten Orte die Möglichkeit, lokale Hochwasserschutzmaßnahmen ergreifen zu können ohne damit seine Unterlieger einer erhöhten Überschwemmungsgefahr auszusetzen.

Die These dieses DBU-Forschungsvorhabens ist, dass dezentrale oder flächenhafte Hochwasserschutzmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen und in Siedlungsgebieten das Hochwasservolumen signifikant reduzieren und somit einen Schutz für alle Bereiche des Einzugsgebietes darstellen. Mit inbegriffen sind dabei nicht nur die Siedlungsgebiete im

Oberlieger- und Unterliegerbereich, sondern auch landwirtschaftliche- und natürliche Flächen sowie die Gewässer selber.

Die zweite These, die ebenfalls zu den Grundlagen der vorliegenden Forschungsarbeit gehört, besagt, dass die Umsetzung und Finanzierung dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen dadurch erleichtert werden, dass sie nicht ausschließlich dem Hochwasserschutz dienen.

Als Beispiel sei an dieser Stelle die sogenannte konservierende Bodenbearbeitung erwähnt, die in der sächsischen Landwirtschaft immer mehr an Bedeutung gewinnt. Die Landwirte entschließen sich zu dieser auch als Mulchsaat-Technik bezeichneten Bodenbearbeitung, um den Boden, dauerhaft vor Erosion durch Oberflächenabfluss zu schützen. Was sich auf den ersten Blick wie eine ausschließlich lokale landwirtschaftliche Maßnahme mit erwiesenem Nutzen für den Landwirt darstellt, kann aus hydrologischer Sicht bei flächenhafter Anwendung effektiven Hochwasserschutz bedeuten.

In diesem Forschungsprojekt soll am Beispiel des Einzugsgebietes der Lausitzer Neiße im Rahmen interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Fachleuten der Wasserwirtschaft, Bodenkunde, Landwirtschaft und Raumordnung quantifiziert werden, welchen Einfluss dezentrale Maßnahmen in der Landwirtschaft sowie dezentrale Maßnahmen in der Siedlungswasserwirtschaft auf die Reduzierung des Hochwasserabfluss haben, wenn man von einer flächenhaften Umsetzung ausgeht.

2 Leitgedanke des vorbeugenden Hochwasserschutzes (W,L)

Die bisherigen Anstrengungen zum Hochwasserschutz konzentrieren sich als sogenannte „reaktive“ Maßnahmen darauf, die von den ablaufenden Hochwasserwellen potentiell ausgehenden Schädigungen abzuwehren bzw. in Grenzen zu halten. Im Prinzip findet man sich mit den ablaufenden Hochwasserwellen ab und versucht, das Ableitungssystem den Abflüssen anzupassen. Dem steht der Ansatz entgegen, dass man sich nicht mit der Höhe und dem Volumen der Hochwasser abfindet, sondern versucht, Abflüsse bereits am Ort ihrer Entstehung, also in den Flächen der Einzugsgebiete, durch „dezentrale“ Rückhalte- und Versickerungsmaßnahmen zu vermindern. Dies war der Leitgedanke des vorliegenden Forschungsprojektes.

Das dieser Leitgedanke für alle Größenordnungen von Ableitungssystemen von den Kanalnetzen der Siedlungsgebiete über die Entwässerungssysteme landwirtschaftlicher Flächen bis zu den großen Flüssen gelten kann, soll im Folgenden nachgewiesen werden.

Als Beispiel für die Umsetzung abflussvermindernder Maßnahmen in Kanalnetzen der Siedlungsgebiete wurden das Potential und die Auswirkungen dezentraler Regenwasserbewirtschaftung für die Stadt Zittau bestimmt. Der Schwerpunkt des Projektes ist jedoch die Untersuchung der konservierenden Bodenbearbeitung oder Mulchsaat-Technik als flächenhafte abflussvermindernde Maßnahme im Bereich der Landwirtschaft. Die Berechnung der Auswirkungen einer stufenweisen Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung für das Hochwassergeschehen in der Lausitzer Neiße vervollständigt die Betrachtung des Leitgedankens auf allen Skalenebenen.

2.1 Definition (W)

Ähnlich wie beim Begriff des dezentralen Hochwasserschutzes ist die Interpretation des vorbeugenden Hochwasserschutzes nicht eindeutig. Vielfach wird dezentraler Hochwasserschutz als Anwendung vielfältiger, kleinerer, im Raum verteilter Maßnahmen definiert wobei zunächst offen ist, welche Maßnahmen ergriffen werden und in welchem Bereich des Flusseinzugsgebietes sie sich befinden. In Tabelle 1 sind eine Reihe von dezentralen Maßnahmen aufgeführt, die alle einen mehr oder weniger großen Beitrag zum Hochwasserschutz leisten können.

Darüber hinaus kann nichts dagegen sprechen, dass zum Beispiel das Aufstellen von Hochwasserkatastrophenplänen im Rahmen des Zivilschutzes als vorbeugender Hochwasserschutz bezeichnet wird.

Sowohl die Vielfalt der Maßnahmen als auch die Vielfalt der fachlichen Ebenen sind charakteristisch für den vorbeugenden oder dezentralen Hochwasserschutz. Sie sichert die Flexibilität und Nachhaltigkeit dezentraler Maßnahmen und ist zugleich ein entscheidender Vorteil gegenüber konventionellen Hochwasserbauwerken und -Konzepten.

Maßnahmen in Siedlungsgebieten

flächenhafte Maßnahmen

- Entsiegelung
- Flächenversickerung
- Muldenversickerung
- Mulden-Rigolen-Versickerung
- vernetztes Mulden-Rigolen-System
- Versickerungsschächte
- Regenwassernutzung
- Gründächer

Einzelmaßnahmen

- Grabenentwässerung
- Regenrückhaltebecken
- Mischwasserspeicherbecken
- Teiche

Maßnahmen im außerörtlichen Bereich

Dezentrale Maßnahmen im Einzugsgebiet

- Wegenetz und Wegebau verändern
- Verbauung von Leitlinien
- Hecken, Ackerrandstreifen
- Kleinterrassen
- Dämme
- Flutmulden

Bodenbehandlung

- Bodenstabilität erhöhen, z.B. Kalkung
- Tiefenlockerung
- Drainageabstände vergrößern
- Wahl der Maschinen

Anbaumaßnahmen in der Landwirtschaft

- Fruchtfolge
- Zwischenfruchtanbau und Gründüngung
- Kontursaat
- Verringerung der Schlaglänge
- Mulchsaat - konservierende Bodenbearbeitung

Tabelle 1: Katalog dezentraler Maßnahmen

Es bleibt festzuhalten, dass im Rahmen dieses Forschungsvorhabens die Definition des dezentralen- oder vorbeugenden Hochwasserschutzes deutlich enger gefasst wurde, als in Tabelle 1 dargestellt. So beschränkt sie sich auf abflussvermindernde Maßnahmen in der Fläche, die den Boden als natürlichen Wasserspeicher nutzen.

2.2 Wirkungsweise dezentraler Maßnahmen und Auswirkungen auf die Hochwasserentstehung (W)

Die Wirkung der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und der konservierenden Bodenbearbeitung auf die Hochwasserentstehung basiert im Grunde auf dem gleichen Prinzip, da beide Techniken letztendlich den Boden am Ort oder in der Nähe der Abflussentstehung als Wasserspeicher erschließen.

Mit Verweis auf die Dokumentation zum DBU-Forschungsprojekts „Innovative Hochwasserreduzierung durch dezentrale Maßnahmen am Beispiel der Saar“ [SIEKER et. al., 2001] soll hier auf die allgemeinen Zusammenhänge und hydrologische Teilprozesse eingegangen werden.

Anhand der Abbildung 1 [SCHRÖDER et al., 1994] kann verdeutlicht werden, welche Prozesse an der Hochwasserentstehung beteiligt sind und welche bei der Simulation des Abflussgeschehens zu beachten sind. Des Weiteren wird nochmals der Unterschied zwischen „reaktivem“ und vorbeugendem Hochwasserschutz graphisch dargestellt, wie er in diesem Forschungsprojekt definiert ist.

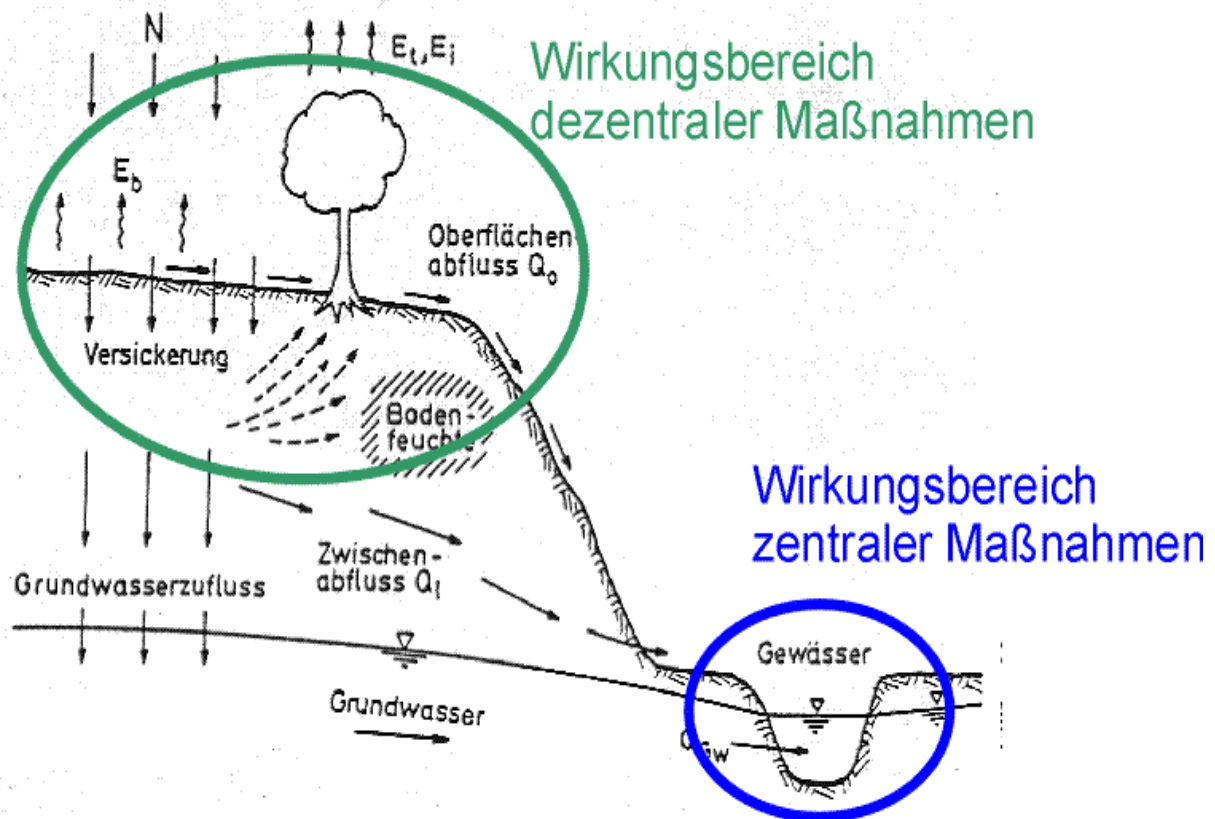


Abbildung 1: Aufteilung des Niederschlags [SCHRÖDER ET AL., 1994], Wirkungsweise zentraler – und dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen

Der Abfluss im Gewässer und damit auch die Hochwasserentstehung resultiert aus dem

- Oberflächenabfluss,
- dem oberflächennahen Zwischenabfluss (Interflow) und
- dem Basisabfluss aus dem Grundwasser.

Die Größe der einzelnen Teilabflüsse hängt maßgeblich von der Niederschlagsintensität und dem Bodentyp ab, wobei der Einflussfaktor Boden stark durch die Landnutzung und die Bodenbearbeitung beeinflusst wird.

In Abbildung 1 ist farblich dargestellt, in welchen Bereichen des Einzugsgebiets der dezentrale bzw. zentrale Hochwasserschutz ansetzt.

Klassische Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes setzen beim Prozess der Abflusskonzentration an. Rückhaltebecken, Polder oder Deiche beeinflussen die Abflussfülle der Hochwasserwelle nicht, vielmehr wird der bereits im Gewässer befindliche Abfluss durch Retentionseffekte verzögert und damit der Abflussscheitel reduziert. Der Erfolg dieser Maßnahmen war stets relativ genau quantifizierbar.

Dezentrale Maßnahmen können im Gegensatz zu den klassischen Maßnahmen des Hochwasserschutzes auch eine Veränderung der Abflussfülle bewirken, da sie bereits beim Prozess der Abflussbildung ansetzen. Dezentrale Maßnahmen fördern die Versickerung des Niederschlages in den Boden. Dort soll er gespeichert werden und einer erhöhten Evapotranspiration zur Verfügung stehen. Der Teil der Bodenfeuchte, der nicht in Boden gehalten werden kann, trägt zur Grundwasserneubildung bei oder fließt dem Gewässer als sogenannter Interflow bzw. Zwischenabfluss zu.

Die Wirksamkeit dezentraler, flächenhafter Maßnahmen wird davon bestimmt, wie viel Niederschlagswasser infiltriert und wie hoch der Anteil ist, der als Interflow relativ direkt dem Gewässer zufließt. Der Beitrag des Interflows wie auch des Oberflächenabflusses zum Hochwasser hängt u. a. von der Dichte des Entwässerungssystems und dem Geländegefälle ab. Es gibt allerdings noch eine Reihe anderer Einflussfaktoren, die für den sogenannten „hydraulischen Anschluss“ natürlicher Flächen verantwortlich sind. Die zu diesem Thema gesammelten Informationen werden in Kapitel 2.3 genannt.

Unabhängig davon, ob der versickerte Anteil eines hochwassererzeugenden Niederschlages vollständig oder in Bereichen nur teilweise der Hochwasserwelle entzogen wird, haben dezentrale Maßnahmen den Vorteil, dass das reduzierte Abflussvolumen sowohl den abflussverursachenden Flächen selbst wie auch dem Unterliegerbereich, d. h. dem lokalen und überregionalen Hochwasserschutz nutzt. Hinzu kommt, dass sich die Speichervolumina dezentraler Maßnahmen während der Hochwasserperiode stetig (in Abhängigkeit von der hydraulischen Leitfähigkeit) wieder entleeren.

Zentrale Speicherbauwerke im den abflussverursachenden Einzugsgebieten oder im Unterliegerbereich können immer nur entweder dem lokalen oder überregionalen Hochwasserschutz dienen. Sie speichern Hochwassermengen nur zeitlich befristet und müssen das Wasser letztlich doch zu Lasten der Unterlieger im Nachlauf der Hochwasserwelle abgeben. Eine Regeneration des Speichers während einer Niederschlagspause im Hochwasserzeitraum ist nicht möglich.

Speichervolumina, die durch abflusshemmende Maßnahmen in der Fläche der Einzugsgebiete bereitgestellt werden, sind somit hydrologisch und wasserwirtschaftlich „wertvoller“ einzustufen als gleichgroße Speichervolumina in Form von Überschwemmungsgebieten oder Speicherbauwerken.

2.3 Einfluss verstärkter Infiltration auf die unterirdischen Wasserverhältnisse (W)

Im Rahmen verschiedener Veranstaltungen u. a. in dem DBU-Workshop am 15.-16. Juni 2000 in Saarlouis und den Arbeitstreffen der Projektpartner dieses Forschungsvorhabens wurde wiederholt diskutiert, welchen Einfluss eine erhöhte Infiltration von Regenwasser auf den unterirdischen Abfluss hat.

Von mehreren Seiten wurde der Einwand erhoben, dass eine verstärkte Infiltration keinen positiven Effekt auf das Hochwasser habe, da das infiltrierte Wasser mit geringer Verzögerung dem Gewässer zufließen würde. Die Bedenken stützen sich u. a. auf Veröffentlichungen, in denen wiederholt der Interflow oder „Preferential Flow“ als eine Ursache für schnell abfließendes Wasser im Boden beschrieben wird.

DEMUTH und HILTPOLD [1993] stellen in ihrer „Übersicht zum Kenntnisstand“ fest, dass „bisher weder passende Messmethoden noch theoretische Modelle für die vollständige Beschreibung von Preferential Flow gefunden“ wurden und bezeichnen es als unmöglich, Prognosen für den Preferential Flow anhand von Beobachtungen und Messungen zu erstellen. In ihrer Schlussfolgerung betonen sie den umfangreichen Forschungsbedarf und warnen vor dem Versuch, die ungeklärten komplexen Zusammenhänge mit Modellen ohne theoretische Grundlagen lösen zu wollen. Gleichzeitig halten sie es aber für denkbar, in Anbetracht des drängenden Handlungsbedarfs im Bereich des Boden- und Gewässerschutzes, der Praxis einfache Handlungsempfehlungen zu geben.

Zum besseren Verständnis der Abflussvorgänge im Boden, als Grundlage für theoretische Lösungsansätze wurden in jüngster Zeit weitere Felduntersuchungen in kleinen Einzugsgebieten durchgeführt [KREIN, 2000; CISLEROVA et al., 2000]. KREIN [2000] fasst in seiner Veröffentlichung die möglichen Abflussprozesse zusammen und beschreibt die Ergebnisse seiner Untersuchungen im Einzugsgebiet der Mosel bei Trier. Es wird unterschieden zwischen dem Abfluss in natürlichen Flächen im ungesättigtem und gesättigtem Zustand, wobei es in beiden Fällen zu einem schnellen direkten Abfluss ins Gewässer kommen kann.

Unter ungesättigten Bodenverhältnissen kann es zur schnellen Weiterleitung des Wasser über Makroporen kommen. Voraussetzung ist ein vernetztes Porensystem, in denen ein lateraler Fluss auf Preferential Pathways stattfinden kann [BRONSTERT, 1994] [BEVEN & GERMANN, 1982].

Für den Fall, dass der Niederschlag auf gesättigten Boden fällt, fließt das Wasser sowohl im Makroporensystem als auch in den Feinporen des Bodens ab. Der von Schwerkraft und Bodenfeuchtegradient induzierte Abfluss in der Bodenmatrix hat eine sehr geringe Geschwindigkeit. Trotzdem kann auch diese Abflusskomponente zu schnellem und damit hochwasserrelevantem Abfluss beitragen. In Feldversuchen mit Kochsalz als Tracer konnte KREIN Abflussvorgänge nachvollziehen, bei denen es bedingt durch das Infiltrieren von Wasser zu Wasserbewegungen in tieferen Bodenhorizonten kommt. Es wird auf Veröffentlichungen von KENNEDY et al. [1986] und KLEISSEN et al. [1989] verwiesen, die diese Abflussvorgänge mit Druckimpulsen zwischen hydraulisch verbundenen Bereichen erklären.

Ausgehend von diesen Abflussimpulsen kann es nach Ansicht von KREIN durch verstärkte Infiltration von Regenwasser zu einer Verschärfung des Abflusses im Gewässer kommen: Durch den erhöhten Wasservorrat im Boden, der sich zwischen den Niederschlagsereignissen am Fuß des Einzugsgebiets sammelt, steht eine größere Wassermenge zur schnellen Verdrängung in das Gerinnebett bereit. Zusätzlich verkürzt sich durch die erhöhte Bodenfeuchte die Reaktionszeit des gewässernahen Bodenwassers.

Um erste Anhaltspunkte für den Einfluss der unterschiedlichen Bodenwasserabflussanteile zu erhalten, hat KREIN u. a. die Leitfähigkeit von Hochwasserwellen gemessen und damit das Alter (Aufenthaltszeit im Boden) des abfließenden Wassers bestimmt. Gleichzeitig wurde die Bodenfeuchte vor dem Niederschlagsereignis und das Abflussmaximum der Hochwasserwelle gemessen. Die Messergebnisse zeigen, dass bei hoher Bodenfeuchte die Leitfähigkeit der Hochwasserwelle höher ist als bei Hochwasserabflüssen mit geringer Ausgangsbodenfeuchte. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass bei gesättigten Bodenverhältnissen die Hochwasserwelle zum Teil aus Wasser besteht, das durch die Bodenmatrix langsam dem Hangfuß zugesickert ist und nun initiiert durch den Niederschlag herausgedrückt wird.

Gleichzeitig ist den Ergebnissen von KREIN aber auch zu entnehmen, dass die Leitfähigkeit mit der Höhe des maximalen Abflusses deutlich abnimmt, was darauf schließen lässt, dass der Anteil des Oberflächenabflusses für signifikante Hochwasserereignisse der entscheidende Abflussanteil sein könnte (vgl. Abbildung 2).

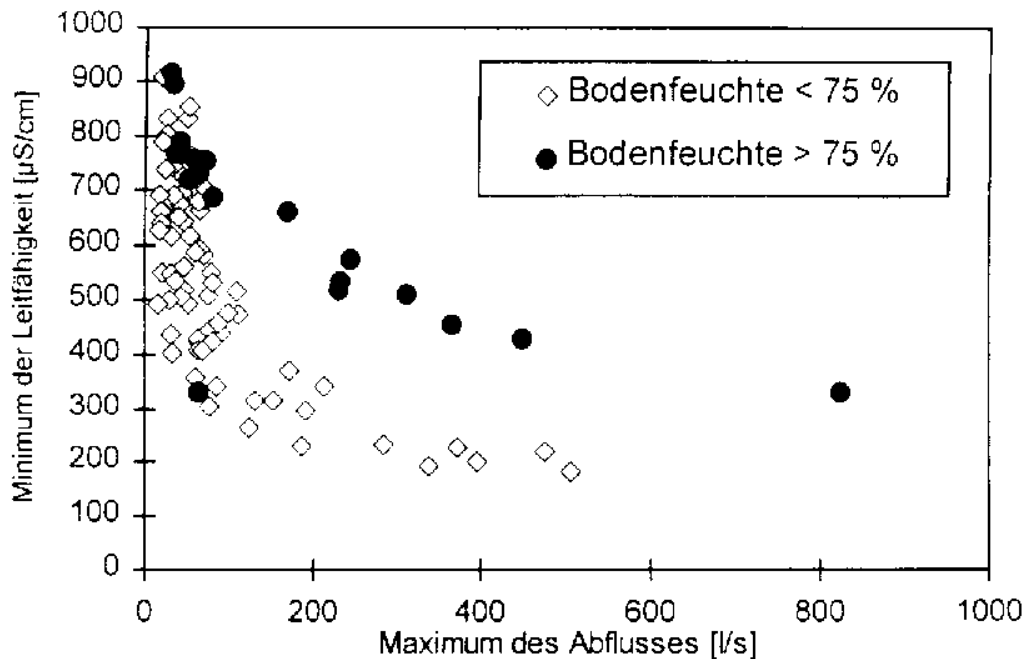


Abbildung 2: Leitfähigkeit von Hochwasserwellen in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte und dem maximalen Abfluss [KREIN, 2000]

Da die Anteile der verschiedenen Abflussprozesse im Boden die Wirksamkeit dezentraler Maßnahmen entscheidend bestimmen, sollen die Untersuchungsergebnisse zu diesem Thema in den Modellrechnungen des Forschungsprojektes berücksichtigt werden. Mit Hinblick auf die Entwicklung dezentraler Hochwasserschutzkonzepte für ein großes Einzugsgebiet muss aber geprüft werden, inwiefern die beschriebenen Abflussprozesse auf das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße übertragbar sind und ob es sich hierbei um flächenhaft auftretende oder räumlich begrenzte Prozesse handelt.

Theoretische Überlegungen zur Bewegung von Bodenwasser in porösen Medien (Boden) wurden bereits in der Dokumentation zum DBU-Forschungsprojekt „Innovative Hochwasserreduzierung durch dezentrale Maßnahmen am Beispiel der Saar“ [SIEKER et. al., 2001] vorgestellt. Sie geben einen ersten Hinweis darauf, dass ein Druckimpuls durch infiltrierendes Niederschlagswasser auf gewässernah gelagertes Grundwasser kein Abflussbildungsprozess sein kann, der in allen Einzugsgebieten in Hochwasserperioden auftritt. Vielmehr ist zu erwarten, dass dieser Prozess bevorzugt in Bereichen zu beobachten ist, in denen eine Reihe von „begünstigenden“ Faktoren zusammentreffen.

Beispielsweise zeichnet sich das von KREIN betrachtete Einzugsgebiet durch flachgründige Böden mit klüftigem Kalkstein als Ausgangsgestein aus. Es ist davon auszugehen, dass eine geringe Mächtigkeit des Bodens und damit eine schnelle vollständige Sättigung den beschleunigten Abfluss von oberflächennahem Bodenwasser fördert. Genauso ist sehr wahrscheinlich, dass in dem klüftigen Ausgangsgestein des Untersuchungsgebietes ein direkter nicht-kapillarer „Grundwasserabfluss“ auftritt, auf den die üblichen Gesetzmäßigkeiten der Grundwasserströmung nicht zutreffen.

Neben der theoretischen Überlegung spricht eine historische Betrachtung der Landnutzungsänderung und Hochwasserentwicklung in den vergangenen 50 Jahren [VAN DER PLOEG et al., 2000] gegen die These, dass schnelle Bodenwasserabflüsse Hauptursache für überregionale Hochwasserereignisse sind. VAN DER PLOEG et al. weisen anhand von Statistiken nach, dass in den letzten 50 Jahren eine starke Versiegelung und Verdichtung der Böden in Deutschland stattgefunden hat. Die Konsequenz dieser Entwicklung ist eine verringerte Infiltration von Niederschlagswasser, die durch fallende Grundwasserstände dokumentiert wird. Gleichzeitig zeigt die Auswertung von Pegeldaten, dass sich die Hochwasserereignisse im selben Zeitraum häufen. Dies widerspricht der Vorstellung, dass eine verstärkte Versickerung oder besser gesagt eine Wiederherstellung des Infiltrationsvolumens des Bodens nicht hochwasservermindernd wirkt.

Im Rahmen einer Studienarbeit am Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover wurden weitere Literaturquellen zum Beitrag des Interflow und seine Bedeutung für das Hochwassergeschehen zusammengetragen und analysiert [MEYER, 2000]. Die Studie ergab, dass trotz der großen Unterschiede in den Untersuchungsergebnissen und den daraus hervorgegangen Interpretationen eine Reihe von Einflussfaktoren immer wieder genannt werden und möglicherweise die Wahl der Untersuchungsgebiete beeinflussen.

Mit großer Übereinstimmung wird eine extreme Hanglage und die Existenz verdichteter Bodenhorizonte als Voraussetzung für ein vermehrtes Auftreten von Interflow bezeichnet. Des Weiteren ist die Mächtigkeit des Bodens als entscheidender Faktor für die Abflussmechanismen zu nennen, da sie die Speicherkapazität und damit auch die Bodenfeuchteentwicklung mit beeinflusst.

Nicht zuletzt wird mehrfach darauf hingewiesen, dass die Nähe der Flächen zum Gewässer oder umgekehrt formuliert die Gewässernetzdichte entscheidet, ob der Abfluss im Boden zum Hochwasserabfluss beiträgt oder vielmehr der Speisung des Niedrigwasserabflusses in Trockenzeiten dient. Je größer die Gewässerdichte ist, desto größer wird der Einfluss der Abflusskomponenten, da es aufgrund kurzer Fließwege zu keiner Dämpfung der Abflusswellen kommen kann. Die Gewässerdichte kann dabei durchaus auch anthropogen beeinflusst sein, z.B. durch Gräben, Drainagen, Gewässerausbau oder durch Kanalisationssysteme.

Um zumindest die Größenordnung und den Einfluss der zum Interflow neigenden Flächen einschätzen zu können, sollen als weiterer Aspekt bei der GIS-technischen Ermittlung des Umsetzungspotenzials dezentraler Maßnahmen die „Interflow-Verdachtsflächen“ als Negativflächen in die Entwicklung der Szenarien einfließen (siehe Kapitel 6.4.1 und 7.2).

Dieser pragmatische Ansatz zur Berücksichtigung des Preferential Flows trägt der Tatsache Rechnung, dass diese Effekte einerseits nicht ignoriert werden dürfen, auf der anderen Seite aber auch nicht pauschal flächendeckend angenommen werden können und eine detaillierte Einzelbetrachtung aller potentieller Flächen bei der Größe des Einzugsgebietes nicht möglich ist. Selbst wenn verlässliche flächendeckende Informationen zur Beschaffenheit des Bodens, der Verwitterungsschicht und dem Ausgangsgestein sowie zur Homogenität des Hanges

vorliegen, lassen sich daraus weder die Ausmaße noch die Geschwindigkeit des Preferential Flows ableiten.

Eine Methodik, die mit Hilfe kartierbarer Kennwerte eine Aussage über den „hydraulischen Anschluss“ natürlicher Flächen liefern könnte, ist nach Wissensstand der Projektpartner noch nicht entwickelt worden. Selbst wenn eine solche Methodik verfügbar wäre, so wäre sie mit den vorliegenden Bodendaten wohl kaum auf das gesamte Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße anwendbar (vgl. Kapitel 6.1.2).

2.4 Umsetzung des Leitgedankens in urbanen Gebieten (W)

Unter „dezentralen Bewirtschaftungsmaßnahmen“ in Siedlungsgebieten ist nicht nur „Versickerung“ zu verstehen. Eine vollständige Versickerung aller Regenabflüsse, d.h., ein Verzicht auf jede Form der Ableitung ist in Siedlungsgebieten oft nicht möglich. Der Regelfall besteht vielmehr darin, dass die örtlichen Verhältnisse nur eine teilweise Versickerung zulassen, die allerdings im Hinblick auf die Jahreswasserbilanz durchaus bedeutend sein kann. Die Maßnahmen der dezentralen Bewirtschaftung schöpfen diese mögliche Teilversickerung aus.

Weitere Funktionen der dezentralen Bewirtschaftung bestehen in der Reinigung der Regenabflüsse während des Durchsickerns des Oberbodens, in der ober- und unterirdischen Speicherung in Mulden und Rigolen sowie in der gedrosselten Ableitung der verbleibenden und zwingend abzuleitenden Abflüsse. Ein Netzwerk dezentraler Bewirtschaftungsmaßnahmen kann daher durchaus als „modifiziertes Ableitungssystem“ verstanden werden, dessen spezifisches Speichervolumen mit 40 Millimeter deutlich über dem Speichervolumen herkömmlicher Entwässerungsnetze liegt.

Das reduzierte Ableitungssystem für die gedrosselten Abflüsse sollte bei Neubaugebieten wie bei einem konventionellen Trennsystem auf kurzem Wege an die natürliche Vorflut angeschlossen werden. Bei Anwendung dezentraler Bewirtschaftungssysteme in Bestandsgebieten (Abkoppelungsmaßnahmen) besteht die kostengünstigste Möglichkeit, die Drosselabflüsse in die vorhandene Kanalisation zu leiten, wobei im Falle eines vorhandenen Mischsystem die Vermischung der gereinigten gedrosselten Abflüsse mit dem „konventionellen“ Mischwasser zwar bedauerlich ist, aber immerhin eine Verdünnung des Mischwassers und vor allem eine quantitative Verringerung bzw. zeitliche Streckung der Mischwasserabflüsse erreicht wird.

Die folgende Abbildung zeigt als Ausführungsbeispiel ein modifiziertes Straßenentwässerungssystem (Abbildung 3).

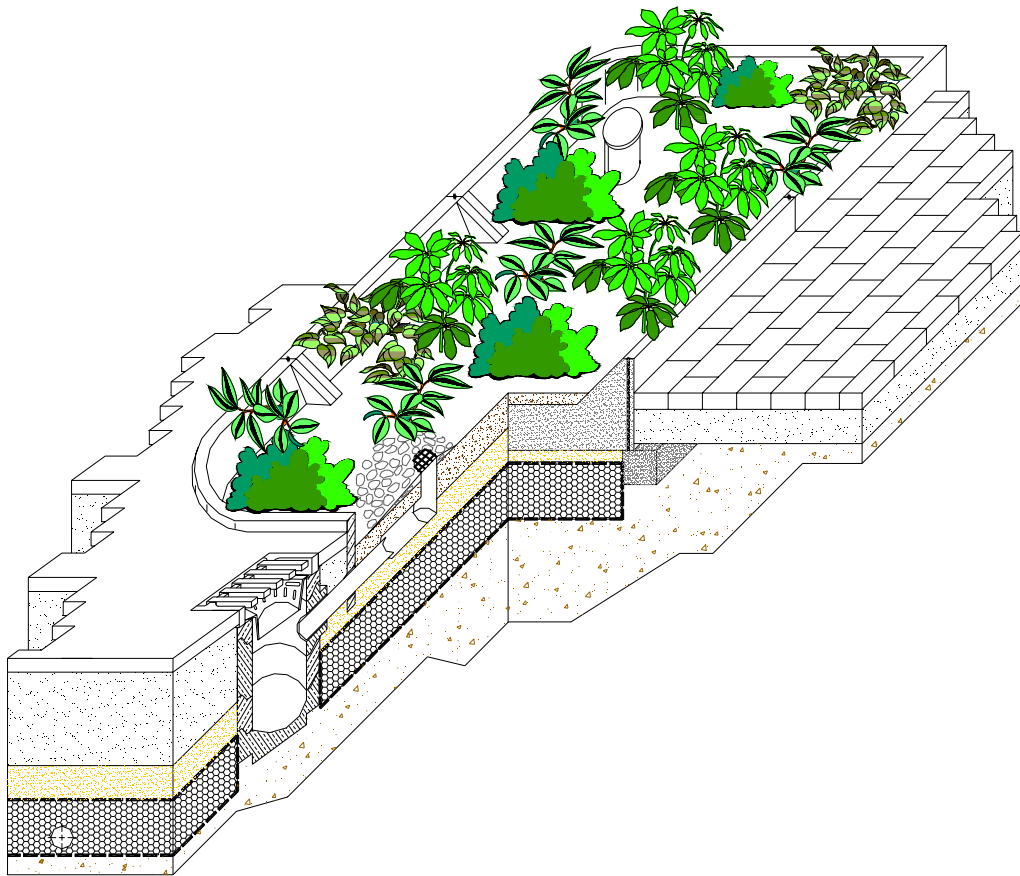


Abbildung 3: INNODRAIN® - Weiterentwickeltes Mulden-Rigolen-Element zur Regenwasserbewirtschaftung im Straßenbereich

2.4.1 Grundsätzliche Auswirkungen auf den Hochwasserschutz

Im Zusammenhang mit dem DBU-Förderprojekt „Hochwasserreduzierung durch dezentrale Maßnahmen am Beispiel der Saar“ [SIEKER et. al., 2001] sind Wasserbilanzen für verschiedene Entwässerungsmaßnahmen aufgestellt und entsprechend ihrer Hochwasserwirksamkeit bewertet worden [STAUSS, 1999].

Die Zusammenstellung der Ergebnisse zeigt, dass nur die Maßnahmen Auswirkungen auf überregionale Hochwasser haben, die ein sehr großes spezifisches Speichervolumen aufweisen und keinen direkten Kontakt mit dem Ableitungssystem besitzen. Dazu gehören u. a. Versickerungsmulden und unvernetzte Mulden-Rigolen-Elemente aber auch Gründächer und Regenwasserzisternen.

Vernetzte Mulden-Rigolen-Systeme haben zwar eine hochwasserdämpfende Wirkung in kleinen Einzugsgebieten. Bezogen auf große Einzugsgebiete und lange Betrachtungszeiträume ist ihre Abflussretention von mehreren Stunden jedoch nicht mehr ausreichend. Hochwasserreduzierend bleibt aber der Teil des Niederschlages, der aus der Rigole versickert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass insbesondere die Flächen zur Hochwasserreduzierung beitragen, die einen hohen Versickerungs- und Verdunstungsanteil in ihrer Wasserbilanz aufweisen.

Unvernetzte Versickerungsmaßnahmen in Siedlungsgebieten erfüllen diese Anforderungen. Indem sie das Niederschlagswasser vor Ort in den Boden verbringen, nähern sie die angeschlossene, versiegelte Fläche bezogen auf die Wasserbilanz dem natürlichen Zustand an.

Zur Betrachtung des Hochwasserschutzes muss verständlicherweise statt der Jahreswasserbilanz die Wasserbilanz der Hochwasserperiode betrachtet werden. Da der Verdunstungsanteil in den relativ kurzen Hochwasserzeiträumen nicht nennenswert zur Hochwasserreduzierung beitragen kann, muss das Hauptaugenmerk auf der Versickerung des Niederschlages liegen.

In diesem Fall können Versickerungsanlagen mit ihrem hohen spezifischen Speichervolumen die Wirksamkeit natürlicher Flächen übertreffen. Unter Beachtung der naturräumlichen Randbedingungen kann dann von einer bewirtschafteten Siedlungsfläche weniger Niederschlag dem Hochwasser zufließen als von natürlichen Flächen.

2.4.2 Motivation für dezentrale Maßnahmen in urbanen Gebieten

Die Untersuchungen bezüglich eines möglichen Beitrages der Siedlungswasserwirtschaft zum vorbeugenden Hochwasserschutz mittels dezentraler Maßnahmen gehen von der Erkenntnis aus, dass es derzeit in der Siedlungswasserwirtschaft kostenintensive Probleme zu lösen gibt, die weniger auf den Anfall von Schmutzwasser zurückzuführen sind, sondern vielmehr durch die großen Mengen Regenwasser entstanden sind. Diese Probleme betreffen insbesondere die hydraulische Überlastung von Kanalnetzstrecken und die Verschmutzung der Gewässer durch Mischwasserentlastungen bzw. belastetes Regenwasser aus der Trennsystemkanalisation.

Diese Probleme lassen sich grundsätzlich auf zwei verschiedenen Wegen lösen:

- Eine Möglichkeit ist, das Entwässerungssystem, zum Beispiel durch größere Kanalquerschnitte und durch den Bau bzw. die Aktivierung von Speicherräumen auszubauen, d.h., dass das Entwässerungssystem den anfallenden Regenabflüssen angepasst wird.
- Die Alternative, die dem Leitgedanken des Projektes folgt ist, die Regenabflüsse durch dezentrale Bewirtschaftungsmaßnahmen zu reduzieren, d.h., dass die Regenabflüsse der Leistungsfähigkeit des vorhandenen Entwässerungssystems angepasst werden, ohne dabei den notwendigen „Entwässerungskomfort“ zu vernachlässigen.

In einer Reihe von Forschungsprojekten und zahlreichen Anwendungsprojekten konnte nachgewiesen werden, dass in den Siedlungsgebieten nicht nur ein bedeutendes Potential zur Abflussreduzierung besteht, sondern dass sich dessen Ausschöpfung durch dezentrale

Regenwasserbewirtschaftung allein aus siedlungs-wasserwirtschaftlichen Zielsetzungen heraus lohnt. Schmutzfrachtberechnungen an konkreten Beispielen (z.B. Stadt Gronau [IPS, 1998]) haben aufgezeigt, dass durch Abkopplung und dezentrale Bewirtschaftung von bereits angeschlossenen Flächen das notwendige Speichervolumen von Kanalnetzen signifikant reduziert werden kann und somit der Neubau von Becken vermieden wird. Die erwähnten Bestandsflächen sind auch aus Sicht des vorbeugenden Hochwasserschutzes besonders interessant, weil durch eine Reduzierung der Abflüsse dieser Flächen ein Teil der eingetretenen siedlungsbedingten Hochwasserverschärfung rückgängig gemacht werden kann.

Abschließend kann gesagt werden, dass die technischen und praktischen Fragen der Umstellung von Siedlungsgebieten vom reinen Ableitungsprinzip auf das Prinzip einer möglichst weitgehenden Abflussvermeidung (bezüglich des Regenwassers) inzwischen als gelöst angesehen werden. Auch der Nachweis, dass sich dieses allein aus siedlungswasserwirtschaftlichen und ökonomischen Interessen heraus im allgemeinen rechnet, kann als gesichert gelten. Werden die Anlagen darüber hinaus so konzipiert, dass sie auch in der Lage sind, hochwasserbildende Niederschlagsperioden so zu bewirtschaften, dass der Abfluss gegenüber un bebauten Gebieten sogar noch „unterboten“ wird, dann ergibt sich im Hinblick auf die Hochwasserreduzierung ein nahezu kostenfreier Beitrag.

2.5 Umsetzung des Leitgedankens in landwirtschaftlich genutzten Gebieten (L)

2.5.1 Definitionen - Wirkungszusammenhänge

Es lag der Schluss nahe, den Ansatz der Regenwasserbewirtschaftung von Siedlungsgebieten auch auf den größten Flächennutzer, die Landwirtschaft, zu übertragen. Es ist vom verstärkten Auftreten von Oberflächenabfluss auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche auszugehen, weil eine zulasten des Grünlandes gehende Ausdehnung der Ackerfläche und eine Intensivierung des Ackerbaus in Deutschland nach dem 2. Weltkrieg stattfand. Der verstärkt auftretende Oberflächenabfluss kann möglicherweise mit der Häufung von extremen Hochwasserereignissen in Flusseinzugsgebieten in einen direkten Zusammenhang gebracht werden.

Inwieweit umwelt- und standortgerechte Formen des Ackerbaus zur Reduzierung von Hochwasserabflüssen beitragen können, wurde bisher noch nicht ausreichend systematisch untersucht (UHLENBROCK U. LEIBUNDGUT 1997).

Die ackerbauliche Nutzung von Flächen ist mit der regelmäßigen Bearbeitung des Bodens verbunden. Dadurch wird die Aussaat einer Kultur vorbereitet bzw. nach deren Ernte für die Folgefrucht günstige Aussaat- und Keimbedingungen in Form eines feinkrümeligen Saatbetts geschaffen. Ziel dieser Eingriffe in das Bodengefüge ist es auch, Wildpflanzen bzw. „Unkräuter“ zu beseitigen, die mit den Kulturpflanzen um Wasser, Nährstoffe und Licht konkurrieren.

Die heute in Deutschland praktizierten Bodenbearbeitungsverfahren lassen sich in drei Gruppen einteilen (Abbildung 4):

- Bodenbearbeitung mit Pflug,
- Bodenbearbeitung ohne Pflug – konservierend,
- Direktsaat.


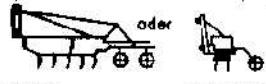







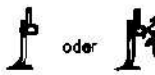







Verfahren	Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat	Ablauf der Arbeitsgänge
Bodenbearbeitung mit Pflug				getrennt
			Bodenfräse oder Rotoregge	kombiniert Saatbettbereitung u. Saat zusammengefaßt
				alle Arbeitsgänge kombiniert
Bodenbearbeitung ohne Pflug – konservierend –				getrennt
				kombiniert Saatbettbereitung u. Saat zusammengefaßt
				alle Arbeitsgänge kombiniert
	—			
Direktsaat	—	—		Saat ohne Bodenbearbeitung

Abbildung 4: Definition der Bodenbearbeitungsverfahren (KTBL 1998)

Wesentliches Kennzeichen der Bodenbearbeitung mit dem Pflug ist die Lockerung und Wendung des Bodens auf Krumentiefe (bis 30 cm Bodentiefe) (KTBL 1998). Neben der damit verbundenen Nährstoffmobilisierung werden beim Pflügen organische Reststoffe und Unkraut in den Boden eingearbeitet. Pflugarbeit hinterlässt eine reststofffreie, vegetationslose Ackeroberfläche als Voraussetzung für die störungsfreie Aussaat der Folgefrucht mit herkömmlicher Drilltechnik (KTBL 1998).

Neben dem Vorteil der weitgehend störungsfreien Bestellung von Feldfrüchten ist das Pflügen jedoch auch mit ökologischen Problemen verbunden. An erster Stelle ist hier die durch die Bodenbearbeitung mit dem Pflug erheblich gesteigerte Bodenerosionsgefährdung durch Wasser und Wind zu nennen. Denn die Oberflächen gepflügter Böden sind nach der Saatbettbereitung bis zum Aufwuchs einer Pflanzendecke schutzlos den Einwirkungen von Wind und Wasser ausgesetzt. So zerstören auf der Bodenoberfläche aufschlagende Wassertropfen die Bodenaggregate. Dies hat die infiltrationshemmende Verschlämmung der Bodenoberfläche zur Folge. Auf verschlammten Böden kann nur noch sehr wenig Wasser versickern und fließt deshalb auf geneigten Ackerflächen hangabwärts, wobei es Bodenteilchen mitreißt.

Im Gegensatz dazu verzichtet die Bodenbearbeitung ohne Pflug (= konservierende Bodenbearbeitung) auf den Pflugeinsatz. Hier kommen nichtwendende Bodenbearbeitungsgeräte zum Einsatz (Abbildung 4), die den Boden weitgehend in seinem Aufbau belassen. Gleichzeitig verbleiben Ernterückstände wie z. B. Stroh (= Mulchmaterial) nahe oder an der Bodenoberfläche. Die konservierende Bodenbearbeitung (Abbildung 4) hat ein stabiles, wenig verschlammungsanfälliges, gleichzeitig tragfähiges Bodengefüge zum Ziel, als vorbeugenden Schutz z. B. gegen Wassererosion (KTBL 1998). So erfolgt bei konservierender Bodenbearbeitung die Aussaat der Folgefrucht in eine mit Mulch bedeckte Ackerfläche. Diese Mulchdecke wirkt der Verschlämmung wirksam entgegen und fördert dadurch eine gute Wasserversickerung (KTBL 1998).

Direktsaat ist definiert als eine Bestellung ohne jegliche Bodenbearbeitung seit der vorangegangenen Ernte (Abbildung 4). Hierfür sind spezifische Direktsämaschinen erforderlich, die Säschnitte öffnen, in die das Saatgut abgelegt wird (KTBL 1998).

Bei Bodenabtragsmessungen auf sächsischen Ackerflächen wurde die wassererosionsmindernde bzw. -verhindernde Wirkung von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren herausgearbeitet (SCHMIDT U. MICHAEL 1999). Da die Wassererosion direkt mit dem Auftreten von Oberflächenabfluss gekoppelt ist (Stein et al. 1986), liegt folglich der Schluss nahe, dass durch die konservierende Bodenbearbeitung ein größerer Anteil des Niederschlagswassers zur Versickerung gebracht werden kann. Analog zur Regenwasserbewirtschaftung von Siedlungsflächen ist so eine Abflussverzögerung durch die Verringerung des Oberflächenabflussanteils und eine Wasservolumenminderung durch die Evapotranspiration vorstellbar. Die konservierende Bodenbearbeitung ist somit auch als eine aktive bzw. vorbeugende Hochwasserschutzmaßnahme anzusehen. In Verbindung mit dem großen Anteil an wassererosionsgefährdeten Ackerflächen in Sachsen (ca. 60 % der Ackerfläche sind potenziell wassererosionsgefährdet) kann bei flächendeckender Anwendung konservierender Bodenbearbeitungsverfahren mit einer deutlichen Minderung von Hochwasserereignissen gerechnet werden.

Die Zielstellung des Teilprojektes der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft bestand darin, Verlauf und Ausmaß der Infiltration konservierend bearbeiteter Ackerschläge im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung mit dem Pflug zu bestimmen und für das Niederschlags-Abflussmodell Eingabedaten hinsichtlich der Infiltrationsunterschiede von konventionell und konservierend bearbeiteten Ackerflächen zu erarbeiten. Weiterhin sollten Veränderungen im Boden herausgearbeitet werden, die für die durch die Bodenbearbeitung verursachten Infiltrationsunterschiede verantwortlich sind. Die Kenntnis derartiger Zusammenhänge sind von entscheidender Bedeutung für Empfehlungen an Landwirte bezüglich infiltrationsfördernder, folglich hochwassermindernder Anbauverfahren.

Hierzu wurden im Rahmen des Projektes vergleichende Infiltrationsmessungen auf Praxisschlägen des sächsischen Lößgebiets im Neiße- und Elbeeinzugsgebiet durchgeführt, Zuvor erfolgte die Anlage von nebeneinander liegenden konventionellen und konservierenden

Bodenbearbeitungsvarianten in Hanglage. Gemäß der Zielstellung wurden ergänzend zu den Infiltrationsmessungen die Böden näher untersucht.

Unterschiede im Infiltrationsverhalten von konservierend und konventionell bearbeiteten Ackerflächen einschließlich der Veränderungen der Bodeneigenschaften, die zu den Infiltrationsunterschieden führten, werden vorgestellt (s. Kapitel 5). Im Anschluss daran werden die Infiltrationsergebnisse auf Ackerflächen in die Niederschlags-Abflussmodellierung des Neißeinzugsgebiets eingebunden (s. Kapitel 6) und so das Hochwasserminderungspotential der konservierenden Bodenbearbeitung im Einzugsgebietsmaßstab herausgearbeitet (s. Kapitel 7).

3 Beschreibung des Untersuchungsgebietes (W,B,L)

3.1 Landnutzung und Gewässersystem (W)

Gegenstand dieses Projektes ist das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße. Es liegt in der Grenzregion der Republik Tschechien, der Republik Polen und der Bundesrepublik Deutschland (vgl. Abbildung 5).

Die Quelle der Lausitzer Neiße befindet sich im Isergebirge (westliches Riesengebirge) östlich der tschechischen Stadt Liberec. Südlich von Zittau am Drei-Länder-Eck fließt die Lausitzer Neiße in das deutsche und polnische Einzugsgebiet. Die Lausitzer Neiße bildet den südlichen Teil der Staatsgrenze zwischen der Republik Polen und der Bundesrepublik Deutschland.

Etwa 200 Flusskilometer nördlich von Zittau mündet die Lausitzer Neiße zwischen den Städten Guben und Eisenhüttenstadt in die Oder.

Das Einzugsgebiet umfasst insgesamt 4200 km². Ungefähr ein Drittel dieser Fläche (ca. 1400 km²) gehört zum deutschen Einzugsgebiet.

Das polnische Einzugsgebiet östlich der Neiße umfasst den größten Teil des Einzugsgebietes und ist geprägt durch das Teileinzugsgebiet des Flusses Lubscha. Der Abfluss der Lubscha hat jedoch nur geringen Einfluss auf das Hochwassergeschehen der Neiße, da die Lubscha erst in der Nähe der Stadt Guben in die Neiße mündet und Guben wiederum nur 14 Flusskilometer oberhalb der Mündung der Lausitzer Neiße liegt.

Obwohl das tschechische Einzugsgebiet kleiner ist als das deutsche und polnische, hat es für die Hochwasserbetrachtung eine besondere Bedeutung. Es ist landschaftlich geprägt durch Mittelgebirge (Riesengebirge) und Mittelgebirgsvorland. Diese Topographie bewirkt, dass sehr schnell ansteigende Wasserstände in der Neiße bei extremen Niederschlagsereignissen auftreten. Der Pegel Hartau am Zufluss der Lausitzer Neiße in das deutsch-polnische Einzugsgebiet zeichnet die Durchflüsse und Wasserstände aus dem tschechischen Einzugsgebiet auf.

Ähnliche topografische Randbedingungen prägen den südlichen Teil des deutschen Einzugsgebietes. Die Oberlausitz und das Zittauer Gebirge weisen Hangefälle und Gewässernetzdichten auf, die ein schnelles Ansteigen der Wasserstände in der Lausitzer Neiße fördern.

Eines der größten Hochwasserereignisse seit Beginn der Wasserstandsmessungen entstand großteils in diesem Abschnitt des Einzugsgebiets: Am 21. Juli 1981 flossen in Hartau dem deutsch-polnischen Einzugsgebiet 128 m³/s zu. In dem Flussabschnitt zwischen Hartau und dem 47 Flusskilometer entfernten Görlitz (in dem sich auch das Kloster St. Marienthal befindet) hat sich dieser Abfluss um den Faktor sechs auf 743 m³/s vergrößert. Ursache hierfür waren die Zuflüsse aus den Teileinzugsgebieten der Mandau und der Pließnitz sowie

die Zuflüsse von der polnischen Flussseite. Der Einfluss des polnischen Einzugsgebietes bezieht sich insbesondere auf den Flussabschnitt kurz oberhalb von Görlitz, da hier die Zuflüsse der Witka/ Směda und der Czerwona Woda in die Lausitzer Neiße münden. Das Einzugsgebiet dieser Flüsse ist mit 470 km² ungefähr genauso groß wie das deutsche Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße zwischen Zittau und Görlitz.

Dieses extreme Hochwasserereignis (1981) weist darauf hin, dass bei der Entwicklung von Hochwasserschutzkonzepten für die Lausitzer Neiße im deutschen Einzugsgebiet das Augenmerk insbesondere auf den sächsischen Teil, genauer gesagt auf dem Bereich zwischen Zittau und Görlitz, gelegt werden muss. Es war daher unstrittig, dass bei der Wahl der sogenannten Testgebiete und der Modellierung der Gesamteinzugsgebietes vor allem die Oberlausitz berücksichtigt wurde (siehe weiß markierter Bereich in Abbildung 5 und Kapitel 6.2.3).



Abbildung 5: Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße

3.2 Pedologie (B)

3.2.1 Bodeninventar des Einzugsgebietes der Lausitzer Neiße

Aufgrund der Datenverfügbarkeit wurde im Rahmen dieses Projektes vorrangig der deutsche Teil des Einzugsgebietes der Neiße untersucht. Dabei konnte der Schwerpunkt auf den Bereich südlich der Städte Niesky und Görlitz gelegt werden, da nördlich dieser Linie größtenteils sandige und sandartige Böden vorkommen, die hinsichtlich der Entstehung von Hochwasser nur eine geringe Relevanz haben. In dem näher betrachteten süd-sächsischen Einzugsgebiet der Neiße besteht der tiefere Untergrund vorwiegend aus paläozoischen Vulkangesteinen. Diese sind aber nur in Bereich von Kuppen Ausgangsgestein der Bodenbildung. Dort finden sich flachgründige Ranker und Braunerde-Ranker, die fast ausnahmslos forstlich genutzt werden. Im überwiegenden Teil des Gebietes sind die paläozoischen Gesteine von pleistozänen Sedimenten überdeckt. Stellenweise finden sich Reste von Geschiebelehm und Geschiebemergel, die oftmals von Lössschleiern unterschiedlicher Mächtigkeit überdeckt sind. Häufig liegen die Lössderivate direkt auf den Vulkangesteinen. In der Nähe der Neiße und den Nebenflüssen finden sich glazifluviale Kies-, Sand- und Geröllterrassen. In unmittelbarer Gewässernähe werden diese von Auelehm überdeckt. Das flächenmäßig bedeutendste Ausgangsmaterial für die Bodenbildung sind somit Löss, Lössderivate und lehmige Substrate, aus denen sich Pseudogley und Parabraunerden entwickelt haben. Diese Böden sind besonders ertragreiche Ackerstandorte und so befindet sich im sächsischen Einzugsgebiet der Neiße 46 % der Fläche unter ackerbaulicher Nutzung, in einigen Teileinzugsgebieten auch über 55 % (Pließnitz). Die Bodeneigenschaften variieren dabei in Abhängigkeit vom Relief und der Mächtigkeit der Lössdecke kleinräumig. Beispielsweise reichen im Teileinzugsgebiet Berthelsdorfer Wasser die Ackerzahlen von 25 bis über 70. Sandige, gut durchlässige und verschlammungsresistente Böden bilden, insbesondere direkt an der Oberfläche eher die Ausnahme. Einen Eindruck von der Verteilung der Bodenformationen vermittelt Abbildung 6.

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurden die folgenden – aus bodenkundlicher Sicht repräsentativen – zwei Gebiete ausgewählt und von uns näher untersucht:

3.2.1.1 Einzugsgebiet Leuba

Das Gebiet umfasst eine Größe von etwa 1 km² und wird, abgesehen von einer Straße, ausschließlich landwirtschaftlich genutzt. Im Vergleich der Karten TK 25 von 1998 und MB 25 von 1929 können keine signifikanten Veränderungen der Landnutzung festgestellt werden. Das Gebiet wurde damals ebenfalls landwirtschaftlich genutzt. Allerdings ist in der Tiefenlinie auf dem Ackerschlag ein Weg verzeichnet, der heute nicht mehr existiert. Daraus hat sich eine Verlängerung der Schlaggröße in Gefällerrichtung ergeben. Das Untersuchungsgebiet Leuba ist von seiner oberflächennahen geologischen Entstehung im wesentlichen durch glaziale Ablagerungen geprägt. Die südöstliche Ecke des Untersuchungsgebietes ist aus Schottern der Mittelterrasse aufgebaut. Im Westen im Bereich des Oberhanges steht Geschiebelehm der Grundmoräne zum Teil bis zur Oberfläche an. Das gesamte Gebiet ist von Lößlehm

überdeckt. Die Lößlehmschicht ist im Westen sowie im Südosten geringmächtiger ausgeprägt. Der Lößlehm ist zum Teil auch örtlich umgelagert und als Fließlehm mit Gesteinen und Substraten des Untergrundes vermengt. Im Bereich des Oberhanges sind zudem (nicht oberflächenprägend) Blöcke aus tertiären Eruptivgesteinen (Alkalibasalt) im oberflächennahen Untergrund vertreten. Aus diesen insgesamt vorwiegend schluffig geprägten Substraten haben sich Parabraunerden (gekappt in Hanglagen) und Kolluvisole (in Hanglagen) entwickelt.

In diesem Gebiet wurde folgendes in einem engen Raster untersucht bzw. durchgeführt:

- Korngrößenanalyse
- Lagerungsdichte
- Eindringwiderstand
- Organische Substanz
- Kalkgehalt
- Aggregatstabilität
- Feldberechnungen
- Kf- und pF – Analysen
- Profilansprachen
- Auswertung von Karten und Daten der Reichsbodenschätzung

3.2.1.2 Einzugsgebiet Berthelsdorfer Wasser

Das Gebiet umfasst eine Größe von ca. 13,9 km². Das Berthelsdorfer Wasser ist ein Nebenfluss der Pließnitz. Es teilt sich in das Hauptgewässer Berthelsdorfer Wasser und in 3 Nebengewässer: ein namenlosen Bachlauf, das „Vordere Flüßel“ und das „Hintere Flüßel“ auf. Das Einzugsgebiet weist ein starkes Relief auf. Die Reliefenergie beträgt 180,5 m. Der höchste Punkt liegt mit 445 m über NN am Wolfsberg, der tiefste Punkt am Messpegel bei 264,5 m über NN. Im Vergleich der Karten TK 25 von 1998 und MB 25 von 1929 zeigen sich einige Landnutzungsänderungen:

- minimaler Rückgang des Waldanteils (im Norden)
- erheblicher Rückgang des Anteils an Feuchtgrünland
- Zunahme der Siedlungsfläche
- Wegfall von Erschließungswegen in der Landwirtschaft

und damit verbundene

- Verlängerung der Ackerschläge in Gefällerrichtung.

Laut Informationen der Bewirtschafter wurden in den 70er und 80er Jahren fast alle Flächen gedränt (Rohrdränung z.T. mit Schlacke verfüllt) und viele Flurgrenzen und Wege beseitigt, die allerdings nach 1990 z.T. wieder neu angelegt wurden. Es gab ehemals viele Teiche, die heute nicht mehr existieren. Das Grünland wurde zum Teil umgebrochen, wobei nach 1990 auch wieder Flächen zu Grünland zurück gewandelt wurden.

Der Untergrund des Gebietes und die Bergkuppen sind aus variszischen Tiefengesteinen aufgebaut. Überlagert wird das Tiefengestein zum Teil von pleistozänen Ablagerungen. Zum einen liegen diluviale Bildungen vor, die aus Lehm, z. T. sandig und kiesig-sandigem Gehängelehm bestehen und zum anderen glazifluviatile Bildungen, die aus Kies und Sand mit Gerölllagen aufgebaut und mit Schluff durchsetzt sind. Stellenweise treten glazigene Bildungen, wie Geschiebemergel, Geschiebelehm und Löß auf.

Entsprechend dieser Substratverteilung ist das Bodeninventar in diesem Teileinzugsgebiet sehr unterschiedliche ausgebildet, mit Ackerzahlen von 25-70. Es handelt sich hierbei um z.T. sehr flachgründige Böden. Auch der Substrataufbau ist bei diesen Böden vielfältig. Die Spanne reicht von z.T. sehr bindigen Böden bis hin zu sehr sandigen Böden, wobei der überwiegende Flächenanteil der Böden zumindest einen Lößschleier besitzt.

In diesem Gebiet wurden an einzelnen Standorten folgende Arbeiten durchgeführt:

- Korngrößenanalyse
- Berechnungen unter Wald
- Profilansprachen
- Auswertung von Karten und Daten der Reichsbodenschätzung

3.2.2 Bodenkennwerte für die Modellierung des Abflussgeschehens mit dem Simulationsmodell NASIM

Zur Beschreibung der hydrologischen Eigenschaften der Böden, mussten die folgenden Parameter auf der Fläche erhoben, berücksichtigt und in das Modell eingespeist werden.

- Bodenartgruppe (nach AG Bodenkunde 1994),
- Verschlammungsneigung (nach AG Bodenkunde 1994), vereinfacht auf zwei Klassen,
- Infiltration (ungehindert) in cm/d sowie m/s,
- Hydraulische Leitfähigkeit bis 3 dm unter Geländeoberkante in cm/d sowie m/s,
- Hydraulische Leitfähigkeit von 3 dm unter Geländeoberkante bis zum Grundwasser in cm/d sowie m/s,
- Porengrößenverteilung, ausgedrückt in Luftkapazität, Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität, Totwasser (permanenter Welkepunkt) und Gesamtporenvolumen in % für den Oberboden, den Bereich von möglichen Unterbodenverdichtungen und den Unterboden.

Diese Werte wurden vom Institut für Bodenkunde der Universität Hannover anhand von Kartenauswertungen, digitaler Bodeninformationen (MMK) und stichprobenartigen Überprüfungen im Gelände für alle 440 im Untersuchungsgebiet ausgewiesenen Bodenformationen ermittelt.

Zur Reduzierung des Rechenaufwandes bei der Simulation mit NASIM wurden die 440 verschiedenen Bodenformationen zu 7 hydrologischen Bodengruppen aggregiert. Die

Aggregation wurde dabei nach der Bodenart sowie der Wasserdurchlässigkeit vorgenommen. Die Kennwerte wurden anhand der Kriterien

- Leitbodentyp,
- Substrattyp,
- Standortregionaltyp,
- Reichsbodenschätzung,
- Bodenart,
- Gründigkeit,
- Mittlerer Grundwasserflurabstand,
- Ökologischer Feuchtegrad und
- Lage von Stauhorizonten

aus der digitalen MMK abgeleitet und mittels folgender Schätztabelle zugeordnet:

- U.S. Soil Conservation Service (SCS), nach Schwab et al. (1993),
- Rawls et al. (1982),
- Methodendokumentation Bodenkunde (Hennings 1994)
- Bodenkundliche Kartieranleitung 3. und 4. Auflage von 1982 bzw. 1994 (AG Bodenkunde).

Die entsprechenden Werte konnten über Flächenschlüssel in ein Geographisches Informationssystem eingelesen und NASIM zur Verfügung gestellt werden.

3.2.2.1 Ermittlung bodenphysikalischer Kennwerte

Zur Überprüfung der aus Karten und Schätzwerten gewonnenen Bodenkennwerte wurden an repräsentativen Standorten in den Gebieten „Leuba“ und „Berthelsdorfer Wasser“ Bodenproben entnommen und im Labor untersucht. Die entnommenen Proben zeigten dabei durchweg Ergebnisse in den erwarteten Größenordnungen, so dass die Anwendung von Schätzwerten auf Grundlage der vorliegenden Karten gerechtfertigt erschien. Lediglich die Aggregatstabilität war etwas höher als erwartet, wobei dieser Wert nicht in die Modellierung eingeflossen ist.

Im Labor wurden die folgenden Standardmethoden angewandt:

- DIN 19 683 zur Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung, der Wasserdurchlässigkeit in Stechzylindern, Bestimmung der Lagerungsdichte.
- Die Aggregatstabilität (Delta GMD) wurde nach Hartge und Horn (1992) bestimmt.
- Berechnungsversuche wurden (als Ergänzung zu den umfassenden Berechnungen der Arbeitsgruppe Leipzig) mit dem Berechner des Instituts für Bodenkunde auf Wiesen und Waldstandorten durchgeführt.

3.2.2.2 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen und Parameter für die Modellierung

Insgesamt wurden im sächsischen Einzugsgebiet der Neiße 440 Bodenformationen identifiziert. Zusammengefasst ergeben sich 7 hydrologische Bodengruppen, deren Eigenschaften exemplarisch in der folgenden Tabelle dargestellt sind. Eine umfassendere Tabelle befindet sich im Anhang 2. Die flächenhafte Verteilung dieser Bodenformationen ist beispielhaft für das Einzugsgebiet des Berthelsdorfer Wasser den Karten in Kapitel 6.1.2 zu entnehmen.

Bezeichnung der hydrolog. Bodengruppe	Hauptbodenartengruppe	Verschlämmungsneigung	Infiltration, ungehindert [cm/d]	Kf [cm/d], bis 3 dm	Kf [cm/d], ab 3 dm
1	Tonlehme	schwach	40	15.52	5.52
2	Lehmschluffe	stark	90	41.32	16.32
3	Normallehme	schwach	90	56.68	31.68
4	Lehmsande	schwach	300	87.16	62.16
5	Schluffsande	stark	300	201.64	146.64
6	Sandlehme	schwach	750	529	504
7	Reinsande	schwach	750	529	504
Bezeichnung der hydrolog. Bodengruppe	Luftkapazität [%], bis 3 dm	Nutzbare Feldkapazität [%], bis 3 dm	Feldkapazität [%], bis 3 dm	Gesamtporenvolumen [%], bis 3 dm	Totwasser (Permanenter Welkepunkt) [%], bis 3 dm
1	3.5	15	55	58.5	40
2	9.5	26.5	40	49.5	13.5
3	7.5	19	40	47.5	21
4	10.5	23.5	36	46.5	12.5
5	16	20.5	28.5	44.5	8
6	10	60	85	95	25
7	24	15.5	22	46	6.5
Bezeichnung der hydrolog. Bodengruppe	Luftkapazität [%], ab 3 dm	Nutzbare Feldkapazität [%], ab 3 dm	Feldkapazität [%], ab 3 dm	Gesamtporenvolumen [%], ab 3 dm	Totwasser (Permanenter Welkepunkt) [%], ab 3 dm
1	3.15	13.5	52.3	55.4	38.8
2	8.55	23.85	38.0	46.6	14.2
3	6.75	17.1	38.0	44.8	20.9
4	9.45	21.15	34.2	43.7	13.1
5	14.4	18.45	27.1	41.5	8.6
6	9	54	80.8	89.8	26.8
7	21.6	13.95	20.9	42.5	7.0

Tabelle 2: Einige bodenphysikalische Parameter der wichtigsten Bodenformationen im sächsischen Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße als Eingangsdaten für das Modell NASIM.

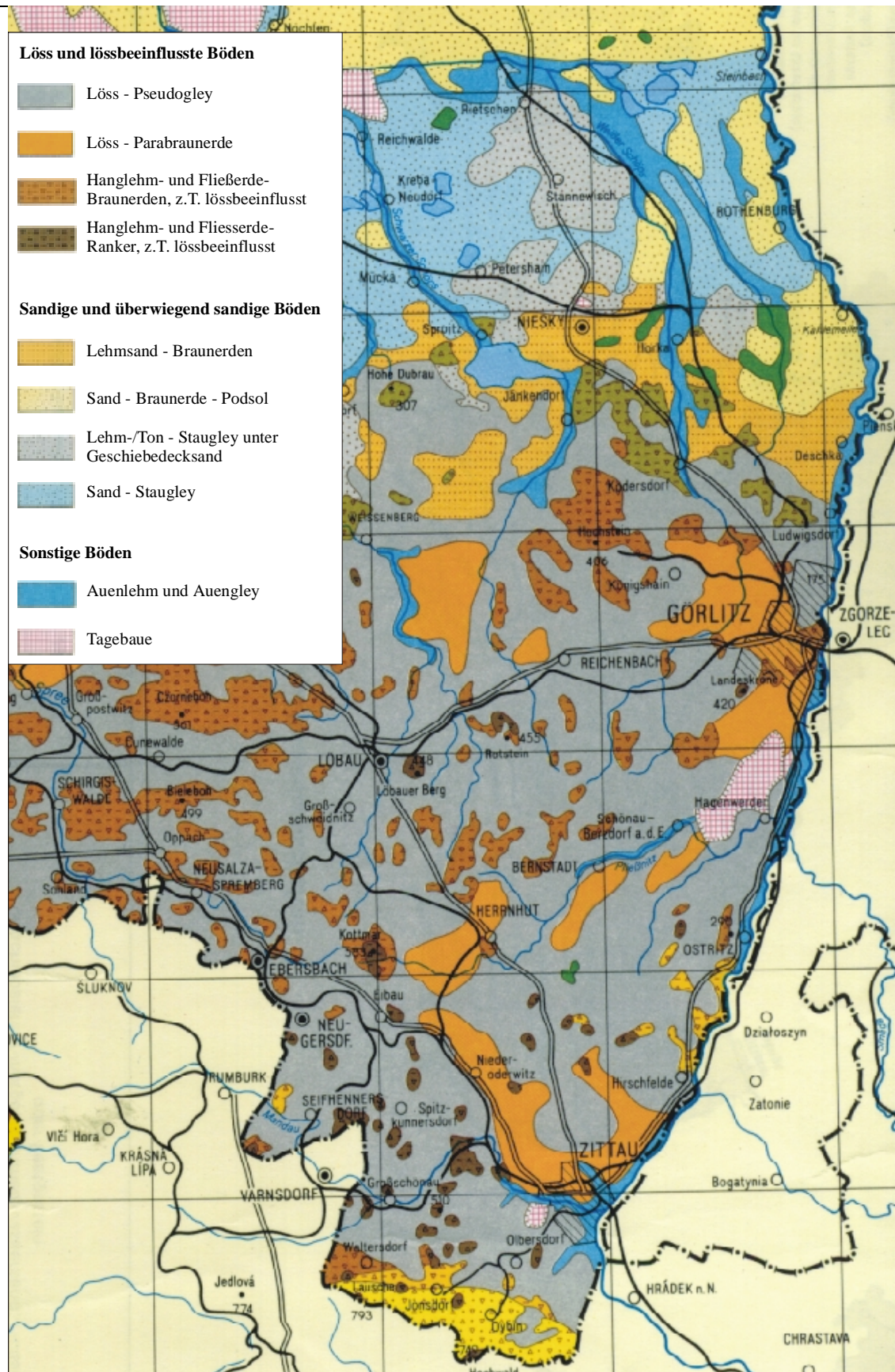


Abbildung 6: Bodenkarte mit dem sächsischen Teil der Neiße. Untersucht wurde vor allem das Teilgebiet südlich von Niesky/Görlitz, da in diesem Bereich lössbürtige Bodengesellschaften überwiegen. Nördlich schließen sich sandige Bodenformationen an, die für die Entstehung von Hochwasser weniger relevant sind. (BÜK 400, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 1993)

3.3 Landwirtschaftliche Flächennutzung (L)

Im Landkreis Löbau-Zittau, in dem das betrachtete Einzugsgebiet liegt, werden 64,8 % der Gesamtfläche landwirtschaftlich genutzt (STATISTISCHES LANDESAMT 2001 (Stand 1998)). Das Ausmaß dieser landwirtschaftlichen Flächennutzung, insbesondere der mit 76 % dominierende Ackerbauanteil (INVEKOS 2001), lassen das Potenzial einer Hochwasserminderung in Bereich der Landwirtschaft erkennen.

Die Flächenanteile einzelner Fruchtarten an der Ackerfläche können aus den InVeKos-Daten für den Landkreis Löbau-Zittau abgeleitet werden (INVEKOS 2001). Sie sind in Abbildung 7 dargestellt. Dominiert wird der Ackerbau durch die Fruchtarten Winterweizen (34 %) und Wintergerste (19 %).

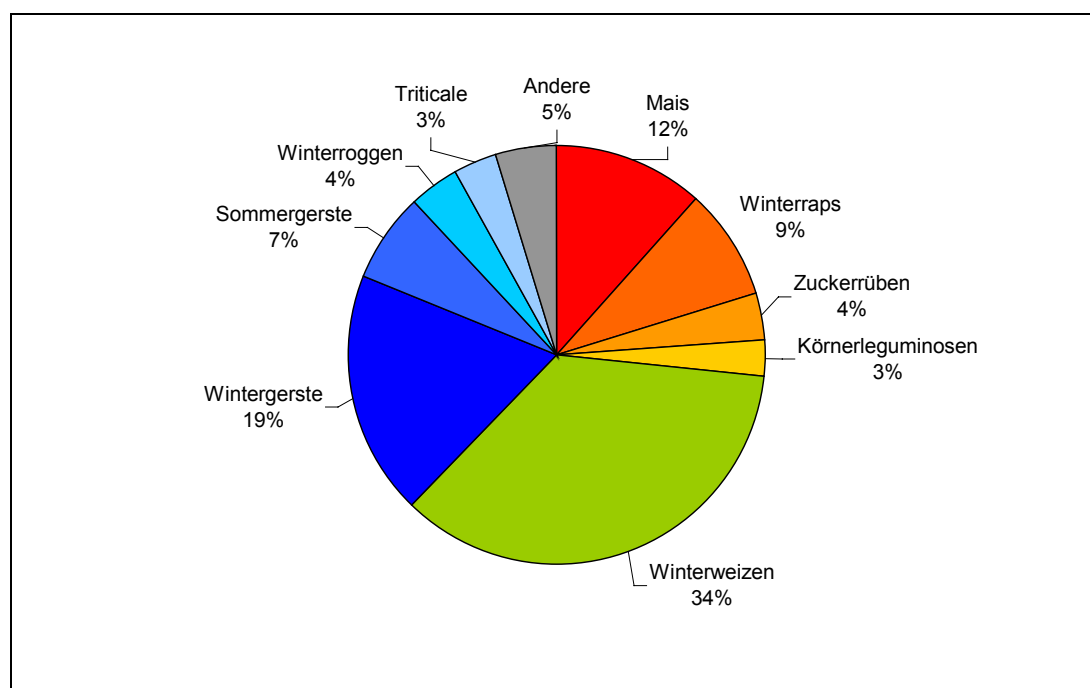


Abbildung 7: Fruchtartenanteile an der Ackerfläche im Landkreis Löbau-Zittau (InVeKos 2001)

Zu den praktizierten Fruchtfolgen und zur Abschätzung des Ausmaßes bisheriger konservierender Bodenbearbeitungsverfahren wurde eine Umfrage bei 15 Landwirtschaftsbetrieben in einem charakteristischen überwiegend landwirtschaftlich genutzten Teileinzugsgebiet der Neiße (Pließnitz) durchgeführt. In der Regel wird von den Betrieben eine marktorientierte dreifeldrige Fruchtfolgewirtschaft mit dem Wechsel von Blattfrucht-Halmfrucht-Halmfrucht durchgeführt. Während die Blattfrucht wechselt (Winterraps, Zuckerrüben und Körnerleguminosen), ist die Halmfrucht „Winterweizen“ als zweites Fruchtfolgefild und die Halmfrucht „Wintergerste“ als drittes Fruchtfolgefild relativ festgelegt. Anstelle von Wintergerste stehen im 3. Fruchtfolgefild auch Winterweizen, Sommergerste, Winterroggen und Triticale. Maisanbau dagegen wird in der Regel in einer mindestens vierfeldrigen Fruchtfolge realisiert. Nach Mais stehen dann Winterweizen, Sommergerste und Erbsen.

Die Fruchtartenanteile nach InVeKos (2001) in Verbindung mit den Ergebnissen der Umfrage zur Fruchtfolge gehen in das Niederschlags-Abfluss-Modell ein, um den jahreszeitabhängig unterschiedlichen Bodenbedeckungsanteil während der Simulation des Ist-Zustandes zu berücksichtigen.

Aus den Ergebnissen der Umfrage geht weiterhin hervor, dass dauerhaft konservierende Bodenbearbeitungsverfahren im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße noch die Ausnahme sind. Daher wird bei der Simulation im Ist-Zustand von konventioneller Bodenbearbeitung ausgegangen. Inwieweit eine bereits häufiger praktizierte einjährige konservierende Bodenbearbeitung im Rahmen der Fruchtfolge nach bestimmten Vorfrüchten bereits Auswirkung auf eine veränderte Infiltration hat, wird bei den Infiltrationsversuchen mit geprüft.

4 Vorbeugender Hochwasserschutz in urbanen Gebieten (W)

4.1 Generelle Entwässerungsplanung im Sinne eines vorbeugenden Hochwasserschutzes am Beispiel der Stadt Zittau

Unter Berücksichtigung der ökonomischen Vorteile und im Hinblick auf einen vorbeugenden Hochwasserschutz ist deutlich geworden, dass die Regenabflüsse aus Siedlungsgebieten dem vorhandenen Entwässerungssystem angepasst werden sollten, statt das vorhandene System immer weiter auszubauen. Um diese Erkenntnis auf ein bestehendes Entwässerungsnetz einer Stadt übertragen zu können, empfiehlt es sich für die Kommunen, die vorhandenen Generalentwässerungspläne (GEP) zu überarbeiten. Dieses gilt insbesondere dann, wenn wesentliche Planungsanteile des jeweiligen GEP noch nicht ausgeführt wurden.

Eine wichtige Vorarbeit für die Überarbeitung des GEP besteht dann darin, das Potential der dezentralen Bewirtschaftungsmaßnahmen im Einzugsgebiet des Entwässerungssystems festzustellen. Diese Vorarbeit führt zu der Erstellung von zwei flächendeckenden Karten [vgl. [ATV, 2000]:

1. Erstellung einer Karte der Art der ausführbaren dezentralen Maßnahmen (Regenwasserbewirtschaftungskarte).
2. Erstellung einer Karte der vom Netz abkoppelbaren Flächenanteile (Abkoppelungspotentialkarte).

Die Karten 1) und 2) werden jeweils durch Überlagerung von Karten verschiedener Einflussgrößen gewonnen.

Aus der Überlagerung der Karten 1) und 2) werden wiederum Umsetzungsszenarien für die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, sogenannte Abkoppelungsszenarien, entwickelt. Die Abkoppelungsszenarien werden mit Hydraulik- und Schmutzfrachtmodellen verknüpft, um die Auswirkung der Szenarien auf die Hydraulik und Mischwasserentlastungen im Vergleich zum Ist-Zustand und im Vergleich zu einer „konventionellen“ Sanierung festzustellen. Letzter Schritt ist der Vergleich der Kosten und Wirkungen zwischen den Maßnahmen der dezentralen Bewirtschaftung und denen einer konventionellen Sanierung (Kosten-Nutzen-Analyse).

In der vorliegenden Ausarbeitung ist diese Vorgehensweise am Beispiel der Stadt Zittau dargestellt. Es muss betont werden, dass es im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht möglich war, eine genaue (hydrodynamische) Kanalnetzrechnung und eine zugehörige detaillierte Schmutzfrachtberechnung durchzuführen. Es wurde lediglich eine hydrologische Schmutzfrachtberechnung auf der Datenbasis eines Grobnetzes durchgeführt. Die Ergebnisse bestätigen jedoch die Erfahrungen mit Abkoppelungsszenarien in anderen bereits untersuchten Entwässerungssystemen.

4.2 Schmutzfrachtberechnung unter Anwendung des Simulationsprogramms STORM®

Um eine abschätzende Schmutzfrachtberechnung durchführen zu können, waren Angaben sowohl zum Zustand des Kanalnetzes als auch zu den gegenwärtigen häuslichen und gewerblichen Abflüssen nötig. Als Datengrundlage diente der aktuelle Generalentwässerungsplan (GEP) der Stadt Zittau aus dem Jahre 1992 [GKW, 1992].

Nach damaligen Kenntnisstand wurde ein Bevölkerungswachstum für die Stadt Zittau und damit verbundene Trockenwetterabflüsse angenommen, die sich im Nachhinein als zu groß erwiesen haben. Um diese Annahmen zu korrigieren wurden die damaligen Zahlen mit aktuelleren Werten abgeglichen. Die im Modell angesetzten Werte setzen sich also aus aktuellen Werten für die in den letzten Jahren angeschlossenen Außengemeinden und den Einwohnerzahlen aus dem Jahr 1992 zusammen. Als mittlerer Wasserverbrauch wurden 100 l/s*E angesetzt. Kleinere Gewerbebetriebe sind in den Einwohnerwerten enthalten. Das Gewerbegebiet Weinauring wurde mit einem Abfluss von 45 l/s angenommen, welcher nach dem Umzug eines textilverarbeitenden Betriebes sehr wahrscheinlich ist. Weitere größere Schmutzwassereinleiter aus Großschönau sind explizit berücksichtigt.

Einzugsgebiets- nummer (TEG)	Gesamte Fläche	Versiegelte Fläche [ha]	Unversiegelte Fläche [ha]	Qs24 [l/s]	Q dr. [l/s]	tf [min]	tc [min]
2	22,24	12,23	10,01	1,31	65	3,3	2
3	65,8	7,59	58,21	4,15	225	4,8	2
4	97,1	23,22	73,88	8,46	1000	12,5	5
5	82,2	45,76	36,44	7,69	2277	5,6	8
6	20,51	17,61	2,9	2,85	2655	6,4	3
7	33,2	21,26	11,92	1,85	1276	6,3	3
8	12,23	5,87	6,36	0,77	1200	3,6	3
9	18,55	9,51	9,04	0,38	805	3,5	3
10	8,1	3,5	4,6	0,77	90	3,7	3
11	16,4	7,4	9	0,82	86	5,2	3
12	14,6	7,1	7,5	1,54	630	5,8	5
13	8,7	3,5	5,2	2,08	112	4,3	2
14	189,3	86	103,3	10,62	1685	14,2	10
15	14,9	5,38	9,52	1,15	790	10,4	3
16	20,3	8,8	11,5	0,95	700	3,3	3
17	44,4	22,44	21,96	2,77	1514	12,7	5
18	19,4	8,84	10,56	1,92	221	8	5
EG KA	12,61	5,31	7,3	0,77	416	3,3	3
EG NORD	71,6	35,2	36,4	2,31	0	10	5

Tabelle 3: Kenndaten der Teileinzugsgebiete des Entwässerungsnetzes der Stadt Zittau

Die Ermittlung der Flächen (siehe Tabelle 2) erfolgte mit dem geographischen Informationssystem ArcView. Sämtliche versiegelte Flächen wurden mit den ermittelten Werten im GEP Zittau abgeglichen. Die Fließzeiten in den Kanälen sind anhand der Ergebnisse der hydrodynamischen Berechnung des Kanalnetzes [GKW, 1992] näherungsweise bestimmt worden.

Die Oberflächenfließzeiten ergaben sich aus den Neigungsgruppen, die mittels des digitalen Höhenmodells in ArcView ermittelt wurden. Der Fremdwasseranfall innerhalb des Stadtgebietes wurde mit 100% des Schmutzwasserabflusses angenommen [GKW, 1992]. Für die angeschlossenen Außengemeinden werden 30% Fremdwasseranfall angesetzt, da die

Transportkanäle in einem besserem Zustand sind. In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die angesetzten Schmutzwasserzuflüsse aufgeführt:

Außerstädtische Zuflüsse	Qs,24 [l/s]	Zugeordnetes TEG	Orte
Mandaugemeinden	39,9	Nr 4	Waltersdorf, Großschönau (inkl. Gewerbe), Hainewalde, Hörnitz, Bertsdorf
Gemeinschaft Süd – Eichgraben	4,28	Nr 14	Kaiserfelder West, Oybin / Olbersdorf, Hartau
Gemeinden Nord	3,15	Nr 15	Eckartsberg, Oberseifersdorf

Tabelle 4: Regenwasserzuflüsse von Gemeinden aus dem Umland Zittaus

Um eine realistische Näherung der versiegelten Fläche zu modellieren wurden den verschiedenen Bebauungsgruppen ein charakteristischer Versiegelungsgrad zugeordnet (siehe Tabelle 5). Die versiegelten Flächen ergaben sich somit aus der spezifischen Fläche der Baustrukturen und dem Versiegelungsgrad (siehe Tabelle 3).

Baustruktur	Versiegelungsgrad
Enge Einzelhausbebauung	0,45
Weite Einzelhausbebauung	0,35
Enger Altbau	0,95
Weiter Altbau	0,7
Gewerbegebiete	0,7
Schulen, öffentliche Gebäude	0,5
Bahngelände inkl. Gleiskörper	0,2
Fabrikgelände	0,7
Grünflächen	0,0
Großwohnsiedlung	0,45

Tabelle 5: Mittlere Versiegelungsgrade für unterschiedliche Baustrukturtypen in Zittau

Im Berechnungsmodell wurden die Speicher, die im Moment aktiv sind oder sich in der Ausführungsplanung befinden als vorhanden angenommen. Dadurch konnte realistisch eingeschätzt werden, wo und wie viel Speicherplatz in der Zukunft durch die Anwendung dezentraler Regenwasserbewirtschaftung eingespart werden kann.

In Tabelle 6 sind die Kennwerte der vorhandener Speicherbauwerke angegeben.

Beckennummer	Volumen [m ³]	Drosselabfluss [l/s]
RÜB 3	800	190
RÜB KA	1288	416,6

Tabelle 6: Vorhandene Speicherbauwerke im Entwässerungsnetz Zittaus

Das aktuelle Gesamtspeichervolumen im Entwässerungssystem entspricht 2088m³.

Die Ermittlung des zum System zugehörigen Gesamtspeichers nach ATV 128 (fiktives Zentralbecken) ergab ein notwendiges Volumen von 6557m³. Ohne Anwendung alternativer Regenwasserbewirtschaftung wäre also der Neubau von 4469m³ Speicher notwendig.

4.3 Erstellung einer Regenwasserbewirtschaftungskarte

Um eine Aussage darüber treffen zu können, inwieweit sich die naturräumlichen Faktoren des Gebietes zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung eignen, wurde eine Bewirtschaftungskarte erstellt. Die Analyse natürlicher Faktoren ergab, dass nur Mulden-Rigolen-Systeme bzw. Mulden-Rigolen-Elemente zum Einsatz kommen können. Welche Art der Regenwasserbewirtschaftung an einer bestimmten Stelle im Stadtgebiet möglich oder notwendig ist beantwortet die Bewirtschaftungskarte.

Als Datenbasis dienten folgende Karten:

- „Karte 8 – Grundwasser“ , Landschaftsplan der Stadt Zittau
- „Karte 7 – Boden, Bestand und Bewertung“ , Landschaftsplan der Stadt Zittau
- „Karte 1 – Geologie“ , Landschaftsplan der Stadt Zittau
- „Karte 3 –Hangneigung“ , Landschaftsplan der Stadt Zittau
- „Karte der Grundwassergefährdung, Neugersdorf/Zittau“, Hydrogeologische Karten der DDR
- MMK Sachsen – digitalisierte Daten der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung
- Digitales Höhenmodell (DGM 20)

Um diese analog vorliegenden Karten in ArcView einsetzen zu können wurden die enthaltenen wesentlichen Daten digitalisiert. So entstanden digitale Karten mit Aussagen zu den Bodenarten (Bodendurchlässigkeit), zur Hangneigung, zum Flurabstand und zu Altlastenstandorten.

Da die Genauigkeit der Daten nicht immer den Anforderungen entsprachen mussten in bestimmten Bereichen sinnvolle Annahmen getroffen werden. So lagen keine Daten zu den Bodentypen im Stadtbereich vor. Die im Modell verwendeten Daten wurden aus der Geologie abgeleitet und mit den im näheren Umfeld befindlichen Bodentypen und der zugehörigen Geologie abgeglichen. Der vorherrschender Bodentyp im Stadtgebiet Zittaus ist Löß und Pseudogley.

Bodentyp	Bodenartenabfolge im Profil (aus MMK)
Löß und Staugley	Lu,5dm/tu,lu,6dm/lu(k)1,tu
Löß und Parabraunerde	Lu,5dm/tu
K _f -Werte [m/s]	
Lu : 2,1 10 ⁻⁶	
Tu: 5,6 10 ⁻⁷	

Tabelle 7: Bodenkenndaten im Bereich Zittau

Aus Tabelle 7 wird ersichtlich, dass die Bodenstruktur sehr uneinheitlich ist. Die hydraulische Leitfähigkeit K_f der Parabraunerde befindet sich mit 2,1*10⁻⁶ m/s in einem Bereich, in dem sowohl ein Mulden-Rigolen-System (MRS) als auch Mulden-Rigolen-Elemente (MRE) denkbar wären. Um dazu genaue Angaben treffen zu können müssten gegebenenfalls Leitfähigkeitsuntersuchungen vor Ort unternommen werden.

Da sich der genannte Bodentyp über ca. 50% der untersuchten Fläche erstreckt ist eine Variantenuntersuchung notwendig und sinnvoll. Es wurde sowohl ein Abkopplungsszenario mit flächendeckendem Mulden-Rigolen-System als auch ein Szenario mit Mulden-Rigolen-System und Mulden-Rigolen-Elementen betrachtet. Beide Bewirtschaftungsarten unterscheiden sich in ihren Auswirkungen auf den Hochwasserabfluss ins Gewässer. Beim MRS werden Drainrohre in der Rigole installiert, durch die das überschüssige Wasser gedrosselt in die Kanalisation abfließen kann. Dadurch wird Abkopplung auch bei relativ schwer durchlässigen Böden möglich.

Die Auswirkungen dieser Regenwasserbewirtschaftung sind, dass die Abflussganglinie im Vergleich zur reinen Ableitung positiv verändert wird. So wird der Spitzenabfluss reduziert und der Gesamtabfluss verringert, da ein Teil versickert. Im Gegensatz dazu ist ein MRE in der Lage, die Bemessungsabflüsse vollständig zu versickern. Dadurch gelangt kein Abfluss mehr in die Kanalisation, die Hochwasserwellen in den Kanälen werden abgeschwächt (vgl. Kapitel 2.4.1).

Des Weiteren muss bei der Bewirtschaftungsart der Flurabstand genauer untersucht werden als er aus den vorliegenden Daten zu entnehmen ist. Es existieren für die Stadt Zittau nur Karten, die den Abstand des Grundwasserspiegels zur Geländeoberkante mit „kleiner 5 Meter“ und „größer 5 Meter“ angeben. Eine wichtige Voraussetzung, um Flächen dezentral bewirtschaften zu können, ist jedoch ein Flurabstand von mehr als 1m. Da diese Grenze nicht gekennzeichnet wird, musste innerhalb des vorhandenen Kartenwerkes interpoliert werden. Die betroffenen Bereiche liegen alle im direkten Umfeldes der Oberflächengewässer (Mandau und Neiße). Sie werden in der Variantenuntersuchung als Ausschlussflächen berücksichtigt.

Die interpretierten digitalen Karten wurden in ArcView als Layer übereinandergelegt und verschnitten. Das Ergebnis ist ein Karte, in der die geographische Lage der Bewirtschaftungsarten (MRS und MRE) dargestellt ist (siehe Abbildung 8).

Diese naturräumliche Bewertung des Stadtgebietes in Bezug auf die Versickerung dient als Voraussetzung für eine Einschätzung der Abkopplungsmöglichkeiten.

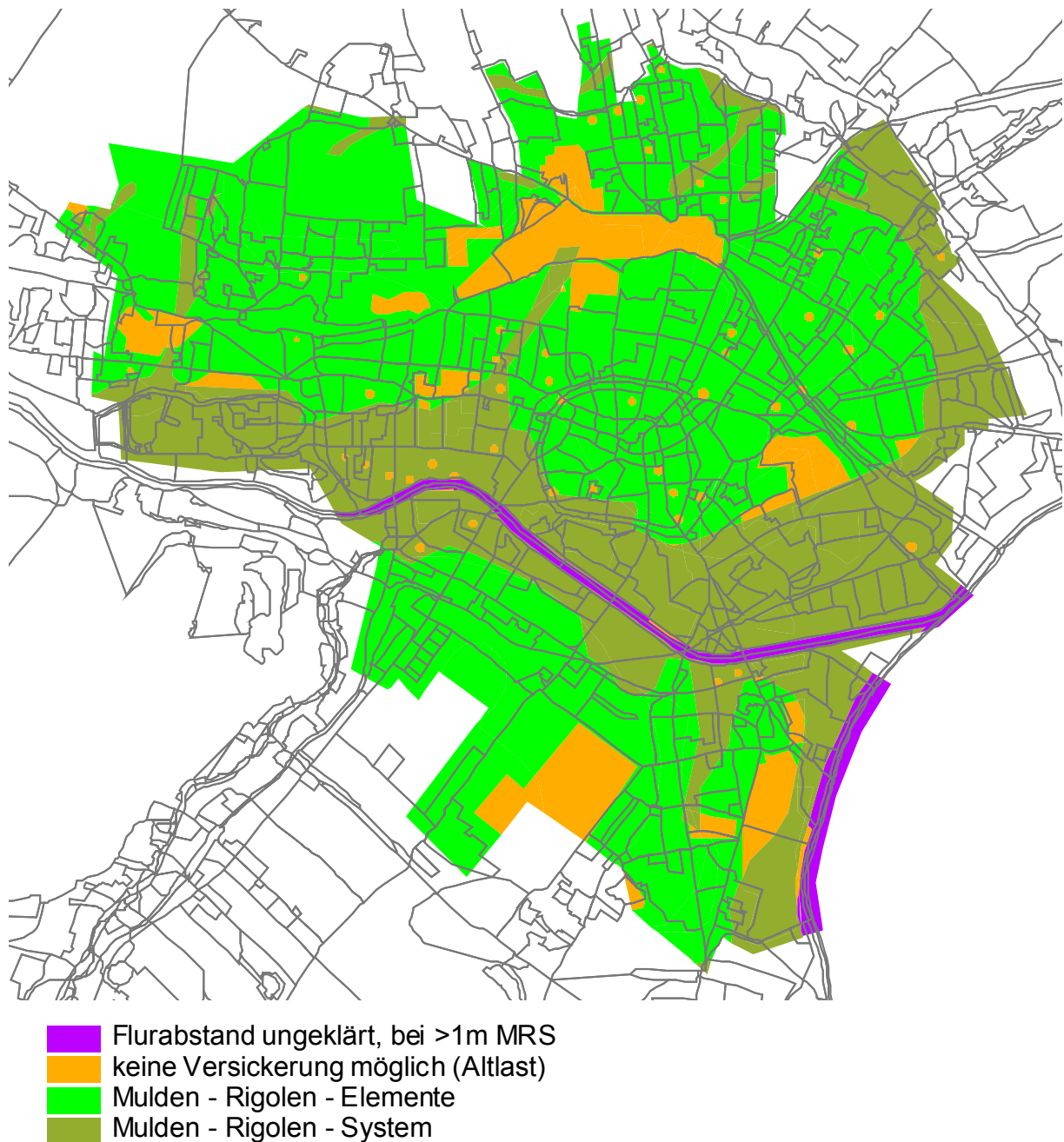


Abbildung 8: Regenwasserbewirtschaftungskarte für die Stadt Zittau

4.4 Erstellung der Abkopplungspotentialkarte

Zusätzlich zu den naturräumlichen Voraussetzungen ist vor allem die in einem Siedlungsgebiet existierende Baustruktur Einflussfaktor für die Umsetzung dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen.

Entscheidend für die baulich bedingten Abkopplungspotentiale sind die prozentualen Anteile an Grünflächen und versiegelter Fläche und die kleinräumlichen Grundstücksstrukturen. So sind beispielsweise Hochhausgebiete aus Erfahrung leichter vom Entwässerungsnetz abzukoppeln als Siedlungsteile mit ausgeprägter Einzelhausbebauung. Des Weiteren ist die Anzahl und Entwässerungsrichtung der Fallrohre der Dachentwässerung entscheidend. In einer Einfamilienhaussiedlung mit dichter Bebauung sind beispielsweise Grünflächen oft nur an einer Seite des Hauses angeordnet, so dass nicht die gesamte Dachfläche abgekoppelt werden kann, obwohl der theoretische Platzbedarf an Grünfläche bezogen auf die versiegelte Fläche vorhanden wäre.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde ein System entwickelt, die in urbanen Gebieten vorhandenen Baustrukturen in Klassen einzuteilen und so Mittelwerte für die theoretischen Abkopplungspotentiale zu ermitteln. Diese Werte müssen anschließend in den entsprechenden Untersuchungsgebieten verifiziert werden.

Im Untersuchungsgebiet Zittau wurden die Gebiete gleicher Baustruktur anhand der topografischen Karte im Maßstab 1:10.000 grob festgelegt. Um eine genauere Vorstellung der Grundstücksform und Lage zu bekommen, wurde stichprobenartig für jede bestehende Strukturform die digitale Grundkarte im Maßstab 1:500 herangezogen.

In Tabelle 8 ist die Einteilung der Baustruktur Zittau in Baustrukturtypen sowie deren Kennwerte aufgeführt:

Baustrukturtypen	Versiegelungsgrad [-]	vorläufiges Abkopplungspotential (in % der versiegelten Fläche)
Enge Einzelhausbebauung	0,45	40
Weite Einzelhausbebauung	0,35	60
Enger Altbau	0,95	12
Weiter Altbau	0,7	40
Gewerbegebiete	0,7	10
Schulen, öffentl. Gebäude	0,5	70
Bahngelände inkl. Gleiskörper	0,2	0
Fabrikgelände	0,7	10
Grünflächen	0,0	0
Großwohnsiedlung	0,45	65

Tabelle 8: vorläufige Abkopplungspotentiale für verschiedene Baustrukturtypen

An die Erstellung dieser vorläufigen Karte schloss sich eine Ortsbegehung in Zittau an. Dabei wurden vorwiegend zwei Ziele verfolgt:

- die Ermittlung der genaueren theoretischen Abkopplungspotentiale anhand der Baustrukturkarte und
- die Prüfung der eingetragenen Grenzen zwischen den Baustrukturen

Zur Zeit der DDR befanden sich in der Stadt Zittau bedeutende Industriestandorte, die mittlerweile ihre Produktion eingestellt haben. Daher liegen im Stadtgebiet mehrere ehemalige Industrieflächen, deren Folgenutzung in einzelnen geprüft werden muss. Des Weiteren sind in einigen Bereichen der Stadt zur Zeit Bracheflächen vorzufinden, welche als potenzielle enge Einzelhausbebauung im inneren Stadtgebiet in die Berechnung eingegangen ist.

Um eine großflächige Aussage über die in Zittau vorherrschenden Potentiale zu ermitteln, wurde jeweils mindestens ein Grundstück der eingetragenen Bautypen detailliert geprüft. Dabei wurden sämtliche versiegelten Flächen – Dachflächen, Wege, Straße, Bürgersteig – geprüft und eine Aussage über die prozentuale Abkopplungsmöglichkeit der entsprechenden Baustruktur getroffen, welche anschließend im Geographischen Informationssystem auf alle Flächen dieses Typs übertragen wurden. In Tabelle 9 sind die Abkopplungspotentiale nach der Verifizierung vor Ort aufgeführt.

Baustrukturtypen	Korrigierter Abkopplungsgrad nach Ortsbegehung (% der versiegelten Fläche)
enge Einzelhausbebauung	25
weite Einzelhausbebauung	35
enger Altbau	0
weiter Altbau	35
Gewerbe	20
Großwohnanlagen	70
Schulen, öffentliche Gebäude	70
Fabrikgelände	10
Grünflächen / Bahn	0

Tabelle 9: korrigierte Abkopplungspotentiale für verschiedene Baustrukturtypen (nach der Kartierung)

Da nun mit Hilfe der Versiegelungsgrade und der Flächendaten für jeden Bereich die gesamte versiegelte Fläche vorlag, wurde noch eine Einteilung in Anteile der Straßen/Wege und der Dachflächen hinsichtlich der gesamten versiegelten Fläche getroffen (als Ansatz wurde das Verhältnis Straße zu Dach von 40% zu 60% gewählt). Die absoluten abgekoppelten Flächen ergeben sich somit aus dem Produkt der Gesamtfläche, dem Versiegelungsgrad und dem Abkopplungspotential.

Durch die beschriebene Vorgehensweise steht flächendeckend für das Stadtgebiet Zittau die Information zur Verfügung, wie viel Fläche dezentral bewirtschaftet werden kann. Das Ergebnis ist die in Abbildung 9 dargestellte Abkopplungspotentialkarte.

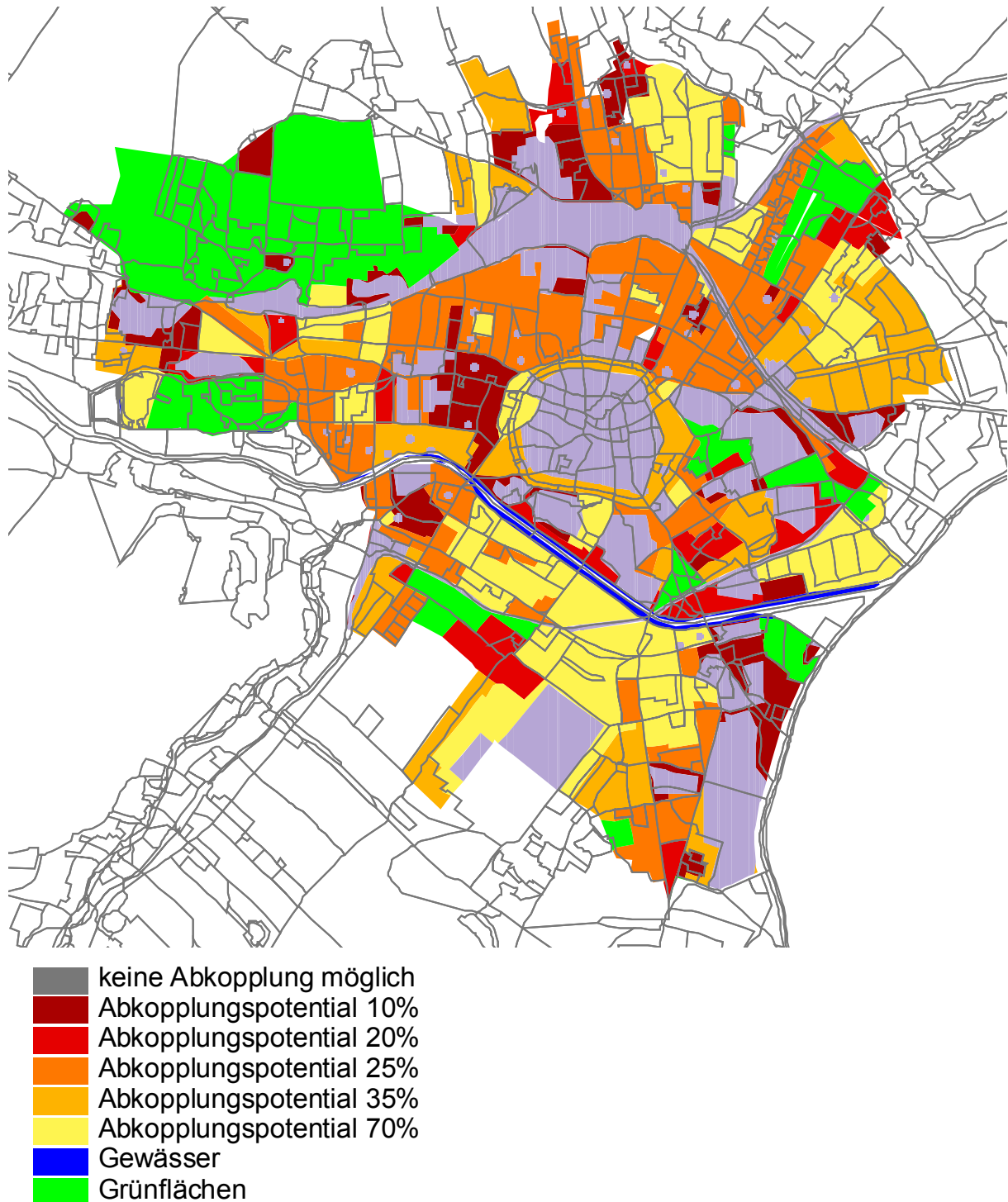


Abbildung 9: Abkopplungspotentialkarte für die Stadt Zittau

4.5 Aufstellung und Berechnung der Abkopplungsszenarien

Um verschiedene Szenarien mit dem Simulationsmodell STORM entwickeln zu können, sind genaue Angaben im Bezug auf Lage und Bewirtschaftungsart nötig. Das heißt, dass sämtliche Daten auf die Teileinzugsgebietsstruktur des STORM-Systems übertragen wurden. Das bedeutet, dass die Bewirtschaftungskarte (Abbildung 8), die Abkopplungspotentialkarte (Abbildung 9) und die Karte der Teileinzugsgebiete miteinander verschnitten wurden.

Von der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung ausgeschlossen wurden Altlastenverdachtsflächen und Flächen, deren Flurabstand kleiner als ein Meter ist. Für alle Teileinzugsgebiete (TEG) wurden die konventionell und dezentral bewirtschafteten Flächen aufsummiert, nach Bewirtschaftungssystem (MRS oder MRE) differenziert und in STORM übertragen.

Auf der Grundlage der mit dem GIS gewonnenen Daten wurden zwei Abkopplungsszenarien erstellt und an das STORM-Modell übergeben.

4.5.1 Abkopplungsszenario 1

Im ersten Abkopplungsszenario wurden sämtliche abgekoppelten Flächen im MRS bewirtschaftet. Dazu wurden die abgekoppelten Flächen von der versiegelten Fläche abgezogen und an ein Mulden-Rigolen-System angeschlossen. Es wurde pro Teileinzugsgebiet jeweils eine repräsentative Mulde entsprechend A_{138} [ATV, 1990] dimensioniert (mit einer Überlaufhöhe von $n=1/a$, Bemessungsregen $r_{15,1}=1111/s*ha$ [DWD, 1997]).

Der Versickerungsabfluss und der Überlauf wurden in eine unterhalb der Mulde befindliche Rigole geleitet, deren Länge mit der Muldenlänge übereinstimmt. Die Dimensionierung erfolgte ebenfalls entsprechend den ATV Richtlinien [ATV, 1990], wobei an der Rigole die Tiefe als veränderliche Größe angesetzt wurde (Bemessungsgröße war eine Überlaufhäufigkeit von $n=0,2/a$). Die Fläche der Mulden wurde anschließend von der unversiegelten Fläche der TEG abgezogen, um die Flächenbilanz nicht zu verfälschen.

Die Genauigkeit einer repräsentativen Mulde war ausreichend, um teileinzugsgebietsgenaue Aussagen über die Auswirkung der Abkopplung auf das städtische Kanalnetz und dessen Sanierung treffen zu können. Für detaillierte Planungen müsste die Mulde jedoch in kleinere Teilmulden mit entsprechender Fläche aufgeteilt werden.

4.5.2 Abkopplungsszenario 2

In dem zweiten Szenario wurden die abgekoppelten Flächen noch einmal entsprechend ihrem Bewirtschaftungssystem aufgeteilt. Analog zum ersten Szenario wurden nun zusätzlich Mulden-Rigolen-Elemente pro TEG definiert. Die Gesamtfläche der Mulden pro TEG und die abgekoppelten Flächen bleiben dabei konstant. Es reduziert sich damit lediglich der Drosselabfluss aus den Rigolen des Gebietes. Somit sind beide Szenarien direkt miteinander und mit dem Ist-Zustand vergleichbar.

In Tabelle 10 sind die berechneten Flächen der Abkopplungsszenarien pro TEG aufgeführt.

Einzugsgebiet (TEG)	Gesamte Fläche [ha]	Versiegelte Fläche [ha]	Unversiegelte Fläche [ha]	MRS [ha]	MRE [ha]
2	22,24	12,23	10,01	0,34	1,58
3	65,8	7,59	58,21	0,1	1,25
4	97,1	23,22	73,88	4	3,84
5	82,2	45,76	36,44	2,5	4,25
6	20,51	17,61	2,9	0,6	0,94
7	33,2	21,26	11,92	1,46	1,75
8	12,23	5,87	6,36	0,78	0,197
9	18,55	9,51	9,04	0,26	0,16
10	8,1	3,5	4,6	0,58	0
11	16,4	7,4	9	1,97	0
12	14,6	7,1	7,5	0,45	0,03
13	8,7	3,5	5,2	2,45	0
14	189,3	86	103,3	8,3	19,65
15	14,9	5,38	9,52	1,35	0,93
16	20,3	8,8	11,5	0,32	2,3
17	44,4	22,44	21,96	0,23	4,7
18	19,4	8,84	10,56	0,002	2,4
EG KA	12,61	5,31	7,3	1,7	0
EG NORD	71,6	35,2	36,4	1,63	8,44
Summe	772	336	436	29	52

Tabelle 10: Potentielle Abkopplungsflächen für das Szenario 2 (Die Summe aus Spalte „MRS“ und „MRE“ ergibt die Flächen für Szenario 1)

Um die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf das Kanalnetz darzustellen, ist ein direkter Vergleich mit den notwendigen konventionellen Maßnahmen der Kanalnetzsanierung vorgenommen worden. Anhand des ATV Arbeitsblattes A128 [ATV, 1992] wurde für die Stadt Zittau ein fiktives Zentralbecken berechnet. Das Volumen dieses Beckens beträgt 6557m³.

Dieses Speichervolumen wurde als ein Becken an das Kanalnetz angeschlossen, wobei sämtliche Drosseln der vorhandenen Bauwerke so eingestellt wurden, dass es zu keiner Vorentlastung kam. In einer Langzeitkontinuumsimulation (Simulationszeitraum 15 Jahre) wurde die Fracht berechnet, die dieses Becken entlastet. Die zulässige Entlastungsfracht aus

dem System beträgt 102 t CSB/a. Diese „zulässige“ Entlastungsfracht in die Lausitzer Neiße wurde als Maßstab für die andere Szenarien festgehalten. Danach wurde das bestehende System inklusive dem im Bau befindliche Regenüberlaufbeckens Nr. 3 (RÜB 3) und dem Regenüberlaufbecken auf der Kläranlage simuliert.

Durch die relativ großen Drosselabflüsse an den Regenüberläufen entlastet das RÜB der Kläranlage mit Abstand die größten Frachten und Wassermengen. Daher erwies es sich als sinnvoll, sämtliches notwendige Beckenvolumen an der Kläranlage anzusetzen, da sich Becken anstelle überlasteter Regenüberläufe in der Simulation als uneffektiver erwiesen.

4.6 Ergebnisse der Fallbeispiels Zittau

Durch iterative Annäherung an die maßgebende Entlastungsfracht von 102 t CSB/a wurde ein noch zu bauendes Beckenvolumen von 4984m³ im Falle einer konventionellen Sanierung ermittelt.

Dem gegenüber stehen die Abkopplungsszenarien. Analog zu dem bestehenden System wurden auch hier neben den Abkopplungsmaßnahmen das „RÜB 3“ und das RÜB an der Kläranlage (Gesamtvolumen 2088m³) berücksichtigt und das Becken auf der Kläranlage entsprechend der maßgebenden Fracht erweitert.

Die Simulation der Abkopplungsszenarien ergab, dass bei Anwendung eines Mulden-Rigolen-Systems in allen Bereichen (Szenario 1) nur noch 1858m³ Beckenvolumen geschaffen werden müsste, um die maßgebende Entlastungsfracht von 102 t CSB/a einzuhalten. Das entspricht einer Reduktion des noch zu bauenden Beckenvolumens von ca. 60%.

Bei Anwendung von Mulden-Rigolen-Systemen und Mulden-Rigolen-Elementen (Szenario 2) reicht der Rückhalt der Mulden und Rigolen aus, um auf weitere Neubauten von Becken vollständig zu verzichten. Es wäre kein weiteres Speichervolumen im Netz erforderlich. Trotzdem könnten die vorgegeben Entlastungsfrachten nach ATV A-128 eingehalten werden.

Da die Anwendung der Versickerungssysteme von kleinräumigen Strukturen und naturräumlichen Faktoren abhängt, ist anzunehmen, dass eine realistische Größenordnung der möglichen Reduktion des Beckenvolumens zwischen den Ergebnissen der beiden Szenarien zu finden ist.

Das hier dargestellte Vorgehen und die Ergebnisse der Schmutzfrachtberechnung unterstreichen die große Wirksamkeit dezentraler Regenwasserbewirtschaftung aus siedlungswasserwirtschaftlicher Sicht, die gleichzeitig einen Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz leistet.

5 Vorbeugender Hochwasserschutz in landwirtschaftlich genutzten Gebieten (L)

5.1 Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wasserinfiltration

Veränderungen infiltrationsbeeinflussender Bodeneigenschaften bei Umstellung von konventionellen auf konservierende Bodenbearbeitungsverfahren haben ihren Ursprung in einer höheren Mulchbedeckung und in einem Verzicht auf eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug.

Die höhere Mulchbedeckung führt einerseits direkt zu einem Schutz vor Oberflächenverschlammung, da das auf der Bodenoberfläche liegende Mulchmaterial die Bodenaggregate direkt vor Regentropfenaufschlag schützt. Somit ist von einer unmittelbaren infiltrationsfördernden Wirkung des Mulchmaterials bei konservierender Bodenbearbeitung auszugehen (AUERSWALD U. HAIDER 1996; BRUCE ET AL. 1992; FRIELINGHAUS ET AL. 1997; OANSTAD U. Otterby 1979; Rawls u. Richardson 1983).

Die Mulchauflage hat aber auch eine Anreicherung von organischer Substanz in der obersten Bodenschicht zur Folge (ANGERS ET AL. 1997; DALAL ET AL. 1991; FRANZLUEBERS ET AL. 1995; KARLEN ET AL. 1994). Außerdem wirkt sich die Mulchschicht auch auf eine Steigerung der biologischen Aktivität aus, da das Mulchmaterial eine Nahrungsgrundlage für Bodenlebewesen darstellt und die Mulchauflage das Bodenklima verbessert (KLADIVKO 2001).

Die Pflanzenreste werden durch die Bodenfauna zerkleinert, zersetzt und mit mineralischen Bodenteilchen vermischt (HOUSE U. PARMALEE 1985; MACKAY U. KLADIVKO 1985). Es kommt zu einer Bildung von Makroaggregaten ($>0,25$ mm). Während Zersetzungs Vorgängen innerhalb dieser Aggregate wird organisches Material durch Pilzhypen und Tonteilchen insbesondere im Zentrum der Makroaggregate stabilisiert. Nach Zerfall der Makroaggregate bleiben die Bereiche mit stabilisierter organischer Substanz über, die dann zur Fraktion der größten Mikroaggregate (ca. 0,1-0,25 mm) zu zählen sind. Diese Aggregate zeichnen sich gegenüber dem umgebenden Bodenmaterial durch einen höheren Kohlenstoffgehalt aus und besitzen eine verbesserte Wasserstabilität (BEARE ET AL. 1994; GALE ET AL. 2000 a, b; ELLIOT 1986; OADES 1984).

Besitzt ein Boden eine Oberfläche mit stabilen Aggregaten, so ist diese Oberfläche deutlich weniger verschlammungsanfällig (ROBINSON U. PHILLIPS 2001) und ermöglicht so eine höhere Infiltration, da verschlammte Oberflächen die Infiltration erheblich behindern (MUALEM ET AL. 1990).

Im Zusammenhang einer höheren Mulchauflage mit der deutlich herabgesetzten Intensität der Bodenbearbeitung kommt es insbesondere zu einer Förderung von tiefgrabenden Regenwurmartensorten und zu einer größeren Zahl von vertikal ausgerichteten Makroporen (CHAN 2001; EHLERS 1975; LAVELLE 2001). Die im Boden vorhandenen vertikal ausgerichteten

Makroporen werden durch die geringere Intensität der Bodenbearbeitung im bisherigen Pflughorizont nicht mehr regelmäßig unterbrochen. Die Folge ist eine erhöhte Anzahl von kontinuierlichen Makroporen bei konservierender Bodenbearbeitung (EDWARDS ET AL. 1988; HEISLER ET AL. 1998; SHIPITALO ET AL. 2001). Diese kontinuierlichen Makroporen können als präferenzielle Fließbahnen dienen, in denen Makroporenfluss auftritt (Carter et al. 1999; Douglas 1986; Edwards et al. 1989, 90 u.93; Trojan u. Linden 1998).

Folglich kann davon ausgegangen werden, dass bei konservierender Bodenbearbeitung nicht nur durch eine geringere Oberflächenverschlammungsanfälligkeit die Infiltration sich erhöht sondern auch durch Makroporenfluss.

Außerdem wirkt sich der Verzicht auf die wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug auch auf bodenphysikalische Parameter der Ackerkrume aus. Insbesondere nähert sich in der Unterkrume der konservierenden Bodenbearbeitung die Trockenrohddichte wieder der natürlichen Lagerungsdichte an, so dass mit einer höheren Lagerungsdichte bzw. mit einem geringeren Gesamtporenvolumen der Unterkrume gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitung auszugehen ist (CARTER ET AL. 1994; LINDSTROM U. ONSTAD 1984; SCHJONING U. RASMUSSEN 2000).

Zusammenfassend kann die Infiltration in einen konservierend bearbeiteten Boden folgendermaßen beschrieben werden. Aufgrund der deutlich geringeren Verschlammungsanfälligkeit der Bodenoberfläche, wird die Infiltration weitaus weniger durch eine Verschlammung behindert. Die Infiltration ist folglich stärker durch bodenphysikalische Parameter determiniert als bei konventioneller Bearbeitung. Physikalische Veränderungen der Bodenmatrix können zwar zu einer Herabsetzung der Infiltrationskapazität in der Bodenmatrix führen, ermöglichen aber dann auch Makroporenfluss, in dem an der Grenzschicht ein positives hydraulisches Potenzial auftreten kann und konservierend bearbeitete Böden eine höhere Anzahl kontinuierlicher Makroporen besitzen. Das Wasser kann dann durch Makroporenfluss schnell von der Bodenoberfläche in tiefere Schichten abgeleitet werden, in dem es durch „by-pass“ Fluss die Matrix im Oberboden passiert. CARTER ET AL. (1999) berichtete, dass sich Wasserflüsse zu einem Anteil von 83-97 % in konservierend bearbeiteten Böden in Makroporen mit einem Durchmesser größer als 0,75 mm ereignen können. Es ist aber davon auszugehen, dass solche Makroporenflüsse nur bei Extremereignissen von Bedeutung sind. EDWARDS ET AL. (1990) berichtet, dass in 12 Wachstumsperioden nur bei 4 % der Niederschlagsereignisse ein solcher Makroporenfluss auftrat.

5.1.1 Hypothesen

Aus dem dargestellten Sachverhalt können zusammenfassend folgende Arbeitshypothesen aufgestellt werden:

1. Bei konservierender Bodenbearbeitung kann eine größere Wassermenge infiltrieren als bei konventioneller Bearbeitung.

2. Hauptursache für die Behinderung der Infiltration in konventionell bearbeiteten Böden ist die Oberflächenverschlämmung.
3. Hauptursachen für die gute Infiltration in konservierend bearbeiteten Böden liegen in der geringeren Oberflächenverschlammungsanfälligkeit (Infiltration über die gesamte Bodenoberfläche ist möglich) und in einem hohen Anteil an hydraulisch aktiven Bioporen (Makroporenfluss).
4. Die flächenhafte Anwendung konservierender Bodenbearbeitung trägt über eine umfassende Reduzierung des Oberflächenabflusses zur Hochwasserminderung bei.

5.2 Infiltrationsunterschiede zwischen konservierend und konventionell bearbeiteten Ackerflächen

5.2.1 Methodik

5.2.1.1 Niederschlagssimulation

Bodenbearbeitungsversuche

Die durchgeführten Simulationen erfolgten von März 2000 bis Juni 2001 in Hangposition auf angelegten Bodenbearbeitungsversuchen. Auf den Bodenbearbeitungsversuchen wurde parallel nebeneinander konventionelle und konservierende Bodenbearbeitung durchgeführt. Die konventionelle Bodenbearbeitung zeichnete sich durch eine 25 bis 30 cm tiefe Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug aus. Die konservierende Bodenbearbeitung erfolgte durch 5 bis 15 cm tiefes Lockern. Zum Teil wurde die konservierende Bodenbearbeitung durch Lockerung tieferer Bodenbereiche ergänzt. Die Feldversuche wurden entsprechend der Bearbeitungsdauer der konservierenden Bodenbearbeitung in einjährige und mehrjährige Versuche getrennt, um den Einfluss der Dauer der konservierenden Bodenbearbeitung auf infiltrationsbeeinflussende Bodeneigenschaften zu berücksichtigen.

Einjährige konservierende Bodenbearbeitung

Sechs Bodenbearbeitungsversuche wurden neu angelegt, die es erlauben, Vergleiche zwischen einjähriger konservierender Bodenbearbeitung und konventioneller Bodenbearbeitung, durchzuführen.

Bodenbearbeitungsversuch	Bodenart	Hangneigung	Berechnungstermin	Fruchtart	Vorfrucht	Varianten
A	Ut4	7 %	September 2001	Winterraps	Wintergerste	konventionell
	Ut3					konservierend
B	Ut3	3 %	Mai 2001	Zuckerrüben	Wintergerste	konventionell konservierend
C	Slu	5 %	April 2000	Sommergerste	Mais	konventionell konservierend
D	Ut4	9 %	März 2000	Winterweizen	Mais	konventionell
		8 %			Winterraps	konservierend
E	Ut4	5 %	November 2000	Winterweizen	Erbsen	konventionell konservierend
F	Ut4	5 %	November 2000	Winterweizen	Zuckerrüben	konventionell konservierend
G	Ut4	7 %	November 2000	Winterweizen	Winterraps	konventionell konservierend
E	Ut4	9 %	Oktober 2000	Wintergerste	Winterweizen	konventionell konservierend

Tabelle 11: Bodenbearbeitungsversuche mit einjähriger konservierender Bodenbearbeitung

Weitere zwei Vergleiche zwischen einjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung wurden auf benachbarten Ackerschlägen mit gleichen Fruchtarten, Bodeneigenschaften und Topographie angestellt. Eine Beschreibung dieser insgesamt 8 Bodenbearbeitungsversuche mit einjähriger konservierender Bodenbearbeitung wird in der Tabelle 11 gegeben. Die vergleichenden Untersuchungen wurden zu Winterweizen (4), Wintergerste (1), Winterraps (1), Zuckerrüben (1) und Sommergerste (1) durchgeführt. Die Hangneigung variierte zwischen den Versuchen von 3 bis 9 %.

Mehrjährige konservierende Bodenbearbeitung

Auf insgesamt 10 Bodenbearbeitungsversuchen wurde die konservierende Bodenbearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung bereits mindestens zur Vorfrucht (d.h. mindestens zweijährig) durchgeführt. Davon wurden auf 2 Versuchsflächen jeweils zwei unterschiedliche Varianten zur konservierenden Bodenbearbeitung angelegt. In Verbindung mit Infiltrationsversuchen auf den selben Bearbeitungsvarianten zu verschiedenen Jahreszeiten innerhalb einer Fruchtart und verschiedenen Fruchtarten im Rahmen der Fruchtfolge, ergeben sich insgesamt 20 vergleichbare Untersuchungen. Davon wurden in Winterweizen- und Zuckerrübenbeständen jeweils 6, in Wintergerstebeständen jeweils 3 sowie in Winterraps-, in Mais-, in Sommergerste- und in Triticalebeständen jeweils 1 Vergleich durchgeführt. Ein weiterer Vergleich konnte vor Aussaat der Zuckerrüben zwischen Herbstpflugfurche bei der konventionellen Bodenbearbeitung und bereits abgestorbenen Zwischenfruchtbeständen bei der konservierenden Bodenbearbeitung angestellt werden. Die Hangneigung streute zwischen 4 und 17 %. Eine Beschreibung dieser Bodenbearbeitungsversuche mit mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung wird in der Tabelle 12 gegeben.

Bodenbearbeitungsversuch	Bodenart	Hangneigung	Berechnungstermin	Fruchtart	Vorfrucht	Varianten
I	Ut4	9 %	Mai 2001	Mais	Winterweizen	konventionell
						konservierend
II	Ut4	7 %	September 2000	Winterraps	Sommergerste	konventionell
			Mai 2000	Sommergerste	Mais	konservierend
III	Ut3	17 %	Oktober 2000	Wintergerste	Winterweizen	konventionell
			April 2001	Wintergerste	Winterweizen	konserv. I konserv. II
IV	Ut4	17 %	November 2000	Winterweizen	Zuckerrüben	konventionell
			April 2001	Winterweizen	Zuckerrüben	konservierend
V	Ut4	17 %	April 2001	Herbstfurche Senf	Winterweizen	konventionell
			Mai 2001	Zuckerrüben	Winterweizen	konservierend
VI	Slu	10 %	November 2000	Triticale	Winterweizen	konventionell konservierend
VII	Ut4	9 %	Juni 2000	Zuckerrüben	Sommergerste	konventionell konserv. I konserv. II
VIII	Ut4	8 %	November 2000	Winterweizen	Zuckerrüben	konventionell konserv. I konserv. II
			April 2001	Winterweizen	Winterweizen	konventionell konserv. I konserv. II
IX	Ut3	7 %	Mai 2001	Zuckerrüben	Winterweizen	konventionell konserv. I konserv. II
X	Ut4	4 %	Mai 2001	Zuckerrüben	Triticale	konventionell konservierend

Tabelle 12: Bodenbearbeitungsversuche mit mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung

Versuchsanstellung und -durchführung

Ein transportabler Niederschlagssimulator wurde verwendet, der mit einer schwenkbaren Flachstrahldüse (2 m über der hängigen Ackeroberfläche) ausgestattet war. Unter Zuhilfenahme der Flachstrahldüse vom Typ „VeeJet 80/100“ ist es möglich natürliche Niederschlagsereignisse hinsichtlich Niederschlagsverteilung, Regentropfenspektrum und kinetischer Energie der Tropfen beim Aufschlag auf die Bodenoberfläche zu simulieren (AUERSWALD ET AL. 1992; HASSEL U. RICHTER 1992). In Abbildung 10 ist das Setup der Niederschlagssimulation dargestellt.

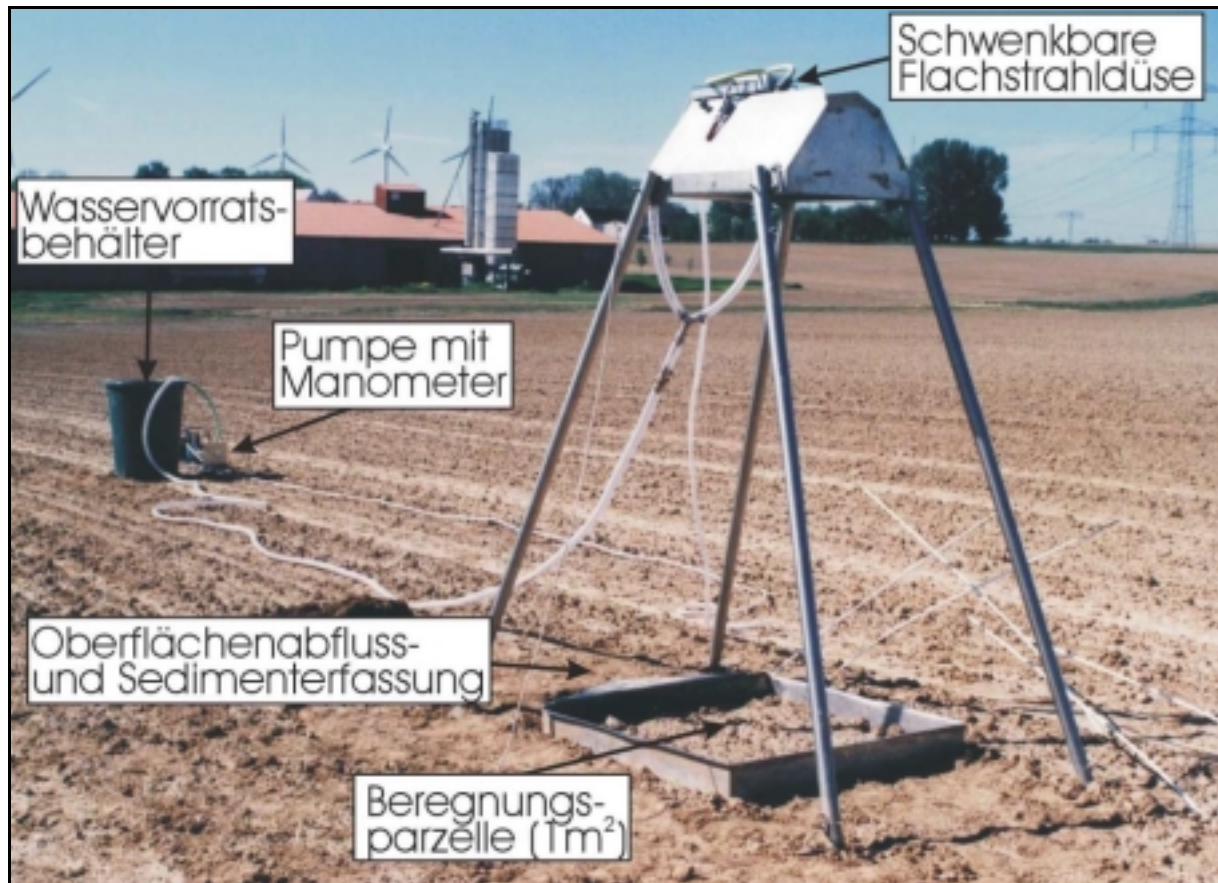


Abbildung 10: Setup zur Niederschlagssimulation

Unterhalb des Regners wurde auf der Bodenoberfläche ein quadratischer Rahmen mit einem Flächeninhalt von 1 m^2 gesetzt (Abbildung 10). Vor dem Start der Regensimulation wurde auf ausgewählten Flächen hangparallel auf einem 10 cm breiten und 40 cm langen Streifen im oberen Bereich der Beregnungsparzelle (innerhalb des Rahmens) der Farbtracer „Vitasyn Blau AE85“ (bekannt als „Brilliant Blue“) mit dem Ziel appliziert, das Vordringen der Infiltrationsfront im Boden vor einer Verschlammung der Oberfläche zu visualisieren (Streifen A in Abbildung 11). Dieser nichtkonservative Farbtracer ist zur Einfärbung von Fließpfaden im Boden geeignet, da er sich gut von der Bodenfarbe abhebt (FLURY U. FLÜHLER 1995) und eine nur geringe Toxizität besitzt (CLARIANT 1999; FLURY U. FLÜHLER 1994). Die Tracerapplikation erfolgte in pulveriger Form unter Zuhilfenahme eines Applikationsrahmens. Nach einer Beregnungszeit von 10 min (und einer möglichen Bildung einer verschlammten Oberfläche) wurde ein zweiter Tracerstreifen nach der gleichen Methode appliziert (Streifen B in Abbildung 11). Die Anlage der Streifen im oberen Bereich der Parzelle diente auch dem Nachweis eines eventuell auftretenden Zwischenabflusses im Boden (z.B. auf einer Pflugsohle).

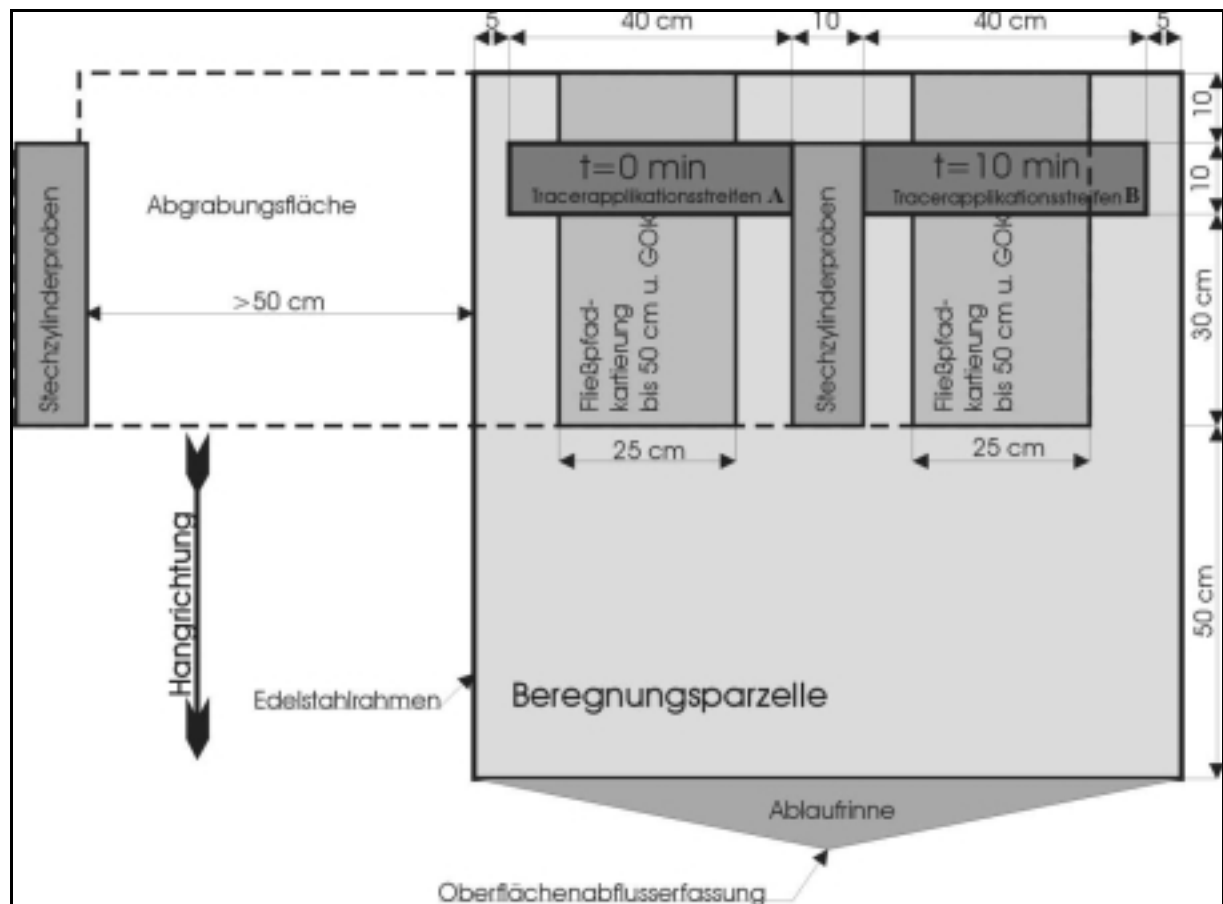


Abbildung 11: Beregnungsparzelle

Die Niederschlagssimulation dauerte insgesamt 20 min. Die Beregnungsintensität betrug 1,9 mm/min. Vergleichbare natürlich auftretende Niederschläge haben in dieser Region eine Wiederkehrzeit von etwa 50 Jahren hinsichtlich der Niederschlagssumme sowie von 20 Jahren hinsichtlich der Niederschlagsintensität (MICHAEL ET AL. 1996).

Während der Simulation wurde der gesamte Oberflächenabfluss mit den abgetragenen Bodenpartikeln an der Ablaufrinne des Rahmens in Flaschen aufgefangen (Abbildung 11).

Unmittelbar nach Abschluss der Beregnung wurde in der Regel eine Parzelle pro Bearbeitungsvariante aufgedeckt. Es wurden horizont- bzw. schichtweise jeweils bis zu sechs 100 cm³-Stechzylinderproben und jeweils eine Beutelprobe bis zu 50 cm Tiefe entnommen (Abbildung 11) sowie die Beregnungsparzelle großflächig mit einer wasserdichten Folie (Vermeidung von Evapotranspiration und Vermeidung der Infiltration evtl. natürlicher auftretender Niederschläge) abgedeckt. Die entnommenen Proben dienten der späteren Bestimmung der Ausgangsbodenfeuchte, der Textur des Bodens, der Rohdichte, der gesättigten Wasserleitfähigkeit und der Ermittlung von Stützpunkten der Wasserretentionskurve.

Am folgenden Tag wurde der Boden im Bereich der Tracerapplikationsstreifen (Abbildung 11) schichtweise bis zu 50 cm Tiefe abgegraben und Fließpfade in Horizontalschnitten (25 cm*50 cm) fotografisch und zeichnerisch erfasst. Der Bodenbereich zwischen den beiden

Tracerapplikations- und Fließpfaderfassungstreifen diente der Stechzylinderprobennahme (100 cm³) zur späteren Bestimmung der Bodenfeuchte nach der Beregnung sowie zur Bestimmung der Rohdichte, der gesättigten Wasserleitfähigkeit und von Stützpunkten der Wasserretentionskurve. Die Entnahmetiefe und Probenzahl entsprach der Beprobung außerhalb der berechneten Fläche.

Ergänzend zum Beregnungsversuch wurde die Bodenbedeckung (Pflanzen und Mulchmaterial) und die Aggregatstabilität sowie pflanzen- und ackerbauliche Parameter der jeweiligen Ackerfläche erfasst.

5.2.1.2 Parameterbestimmung

Oberflächenabfluss und Infiltration

Der Oberflächenabfluss mit dem darin enthaltenen Sediment wurde im Minutentakt in Flaschen aufgefangen und gravimetrisch vor und nach der Eindampfung des Wasseranteils gemessen.

Die Infiltrationsraten wurden indirekt bestimmt, indem von der Niederschlagsintensität der Oberflächenanteil subtrahiert wurde. Für die Gesamtinfiltration wurde das oberflächlich abfließende Wasser nach Beregnungsende in die Berechnung mit einbezogen.

Oberflächenverschlämmung

Bodenbedeckung

In jedem Versuch wurde der Bodenbedeckungsgrad sowohl in der konservierenden Bodenbearbeitungsvariante als auch in der konventionellen Bodenbearbeitungsvariante aufgenommen. Zur Anwendung kam die Zählmethode (WINNIGE ET AL. 1998). Hierzu wurde eine 15 m lange Schnur mit 100 Markierungen versehen, die die Schnur in gleichgroße Abschnitte teilt. Die Messung des Bodenbedeckungsgrades erfolgte durch das Spannen der Schnur diagonal zu den Reihen in unmittelbarer Nähe zu den Beregnungspartellen und der Zählung von Schnittpunkten von Pflanzen- bzw. Mulchteilen mit den Markierungen. Diese Zählung erfolgte in mindestens vierfacher Wiederholung pro Bearbeitungsvariante. Das arithmetische Mittel der Anzahl der geschnittenen Punkte pro Wiederholung ergibt direkt den Bodenbedeckungsanteil in Prozent.

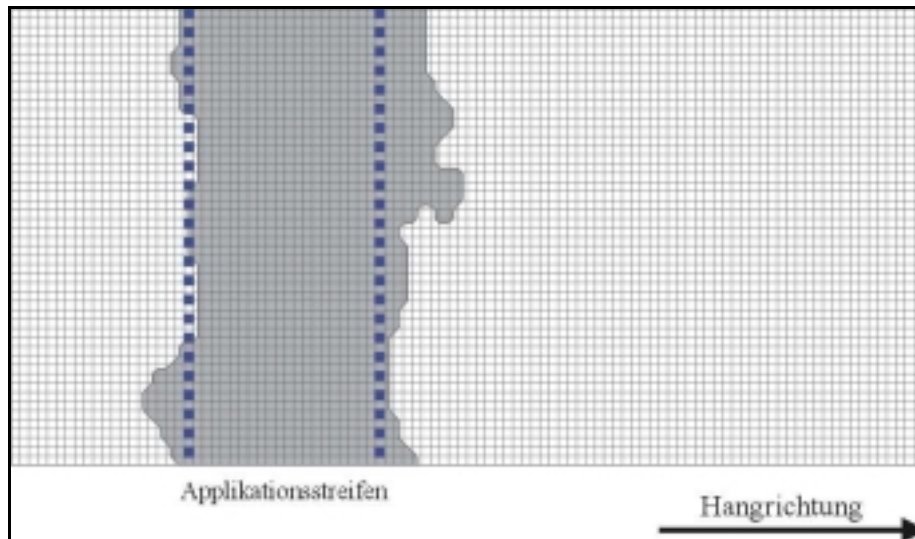


Abbildung 12: Horizontalschnitt in 5 cm Tiefe (Farbtracermuster)

Organische Substanz

Die organische Substanz wurde für die oberste Bodenschicht (0-10 cm Tiefe) bestimmt, durch Messung des totalen Kohlenstoffgehalts nach der Elementaranalyse (DIN ISO 10694) und Umrechnung durch den Faktor 1,724.

Aggregatstabilität

Durch das Tauchsiebverfahren nach MURER ET AL 1993 erfolgte die Ermittlung des Anteils wasserstabiler Aggregate. Zur Messung wurden 1 bis 2 mm große Bodenaggregate aus der obersten Bodenschicht (0-5 cm) herangezogen.

Matrixflussanteil

Der Matrixflussanteil (A_M) wurde in 5 cm Tiefe bestimmt und dient als Maß für die Infiltration durch die gesamte Bodenoberfläche. In Abbildung 12 ist als Beispiel ein aufgenommener Horizontalschnitt in 5 cm Tiefe dargestellt.

Die eingefärbten Bodenbereiche (grau dargestellt) wurden mittels Quadraten mit einer Seitenlänge von 0,5 cm digitalisiert und die Anzahl eingefärbter Quadrate (N_F) direkt unterhalb des Applikationsstreifens (dargestellt durch gestrichelte Linien) ins Verhältnis zur Anzahl der Quadrate auf dem Applikationsstreifen (N_{AS}) gesetzt. Somit ergibt Gleichung 1 den Matrixflussanteil, der auch als der „unverschlammte“ Oberflächenanteil aufgefasst werden kann, durch den eine gleichmäßige Infiltration in die Bodenmatrix möglich ist.

$$A_M = \frac{N_F}{N_{AS}} * 100$$

Gleichung 1

Bodenabtrag

Da der gesamte Oberflächenabfluss in Flaschen aufgefangen, der Wasseranteil verdampft wurde, war es möglich, das zurückbleibende Sediment nach Trocknung gravimetrisch zu bestimmen.

Bodenmatrix

Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte wurde nach DIN 19683 Blatt 12 ermittelt, in dem die Trockenmasse in Beziehung zum Volumen der entsprechenden Stechzylinderprobe gesetzt wurde. Die Lagerungsdichte wurde an mindestens sechs 100 cm³ Stechzylindern aus der Unterkrume (direkt unterhalb der Lockerungsschicht) der konservierenden Bodenbearbeitungsvariante und in vergleichbarer Tiefe der konventionellen Variante (ca. 10 bis 20 cm Tiefe) bestimmt und als arithmetisches Mittel angegeben.

Porenvolumen

Das Gesamtporenvolumen wurde entsprechend DIN 19683 Blatt 13 aus der ermittelten Lagerungsdichte und der Reindichte errechnet. Zur Ermittlung der Grob- und Mittelporenanteile kam das Verfahren von RICHARDS u. FIREMAN (1943) zur Anwendung. Hierzu wurde der Bodenwasseranteil bei den Druckstufen pF 3 und pF 2,5 bei Überdruck und bei der Druckstufe pF 1,8 bei Unterdruck ermittelt. Die Ergebnisse stammen von mindestens 6 Stechzylinderproben im Oberboden direkt unterhalb der Lockerungsschicht der konservierenden Bodenbearbeitungsvariante und in vergleichbarer Tiefe der konventionellen Variante (ca. 10 bis 20 cm Tiefe). Die Ergebnisse wurden als arithmetisches Mittel zusammengefasst.

Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit wurde an mindestens sechs 100 cm³ Stechzylindern aus dem Oberboden direkt unterhalb der Lockerungsschicht der konservierenden Bodenbearbeitungsvariante und in vergleichbarer Tiefe der konventionellen Variante (ca. 10 bis 20 cm Tiefe) bestimmt. Nach kapillarer Aufsättigung der Proben wurde die Wasserleitfähigkeit bei konstanten Druckhöhengradienten nach dem Heberprinzip ermittelt. Die gemessenen Einzelwerte wurden zum geometrischen Mittel zusammengefasst.

Makroporen

Makroporosität

Die in jeweils 12facher Wiederholung gemessenen Werte der gesättigten Wasserleitfähigkeit in 40 bis 50 cm Tiefe an 100 cm³ Stechzylinderproben dienen zur Bestimmung der Makroporosität, durch Anwendung des HAGEN-POISEUILLESCHEN GESETZES. Die im starkem Maße streuenden Werte deuteten auf die Existenz von Bereichen mit unterschiedlicher

Wasserleitfähigkeit hin. Vereinfachend können zwei verschiedene Bereiche angenommen werden; eine langsame Komponente die den Wasserfluss in der Bodenmatrix repräsentiert sowie eine schnelle Komponente die den Fluss in den Makroporen repräsentiert.

Die Aufteilung der Messergebnisse in zwei Bereiche wurde wie folgt durchgeführt. Im Vergleich zu den Werten mit langsamer Fließgeschwindigkeit, streuten die Werte mit hoher Fließgeschwindigkeit sehr stark. Dies ist mit unterschiedlichen Makroporendurchmessern sowie mit unterschiedlicher Makroporenzahl in der jeweiligen Probe zu begründen. Deshalb wurden die einzelnen Messergebnisse zunächst logarithmiert, um eine wirkliche Trennung zwischen langsam und schnell fließenden Bereichen zu ermöglichen. Die so transformierten Werte wurden einer Clusterzentrenanalyse (SPSS) unterzogen. Hierbei erfolgt die Gruppierung der Werte in zwei Cluster. Das Zentrum des Clusters mit den langsamen Fließgeschwindigkeiten entspricht dem Matrixfluss. Das Zentrum des Clusters mit den hohen Werten der Wasserleitfähigkeit ist aber noch nicht dem Makroporenfluss zuzuordnen, da auch in diesen Proben Matrixfluss auftritt. Zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit in den Makroporen wurde deshalb von diesem Clusterzentrum der Matrixfluss subtrahiert. Beide Clusterzentren, die logarithmierte Werte darstellen, wurden vorher in ursprüngliche Werte der gesättigten Wasserleitfähigkeit zurück transformiert.

Zur Plausibilitätsprüfung wird aus dem so gewonnenen Wert des Makroporenflusses unter der Annahme, dass der ermittelte Makroporenfluss nur durch jeweils eine als Röhre idealisierte Makropore pro Stechzylinder fließt und die Makroporenlänge der Stechzylinderhöhe entspricht, mit dem HAGEN-POISILLESCHEN GESETZ der Makroporenradius bzw. -durchmesser berechnet (Gleichung 2).

$$R = \sqrt[4]{\frac{V * 8 * \eta * l}{\pi * \Delta p * \Delta t}}$$

Gleichung 2

η	Dynamische Viskosität (Wasser)	[Pa*s, kg*m ⁻¹ *s ⁻¹]
Δp	Druckdifferenz	[m]
l	Länge der Röhre	[m]
R	Radius	[mm]
t	Zeit	[s]
V	durch Röhre fließendes Wasservolumen	[m ³ *s ⁻¹]

Weiterhin konnte aus dem bisher so aufbereiteten Daten zur gesättigten Wasserleitfähigkeit der Anteil schnell fließender Bereiche im Boden abgeschätzt werden. Hierzu wurde unter zu Hilfenahme des Makroporendurchmessers die entsprechende Oberfläche der Makropore berechnet und mit der Anzahl der Stechzylinderproben des Clusters mit den hohen Werten der gesättigten Wasserleitfähigkeit multipliziert. Dieses Produkt ergibt die Gesamtfläche an Makroporen. Der Flächenanteil wird in das Verhältnis zur verbleibenden Gesamtfläche aller 12 Stechzylinderproben, die die Fläche des Matrixflusses repräsentieren, gesetzt.

Makroporenkontinuität

Die Makroporenkontinuität wurde wie folgt ermittelt. Im Gegensatz zum Horizontalschnitt in 5 cm Tiefe (Abbildung 12), wurde nicht der gesamte Flächenanteil des Bodens der mit Farbe eingefärbt ist zur Berechnung herangezogen, sondern nur die Makroporen, an deren Wänden bzw. in deren näherer Umgebung Verfärbungen nachgewiesen werden konnten. Einen solchen Horizontalschnitt in 50 cm Tiefe zeigt Abbildung 13.

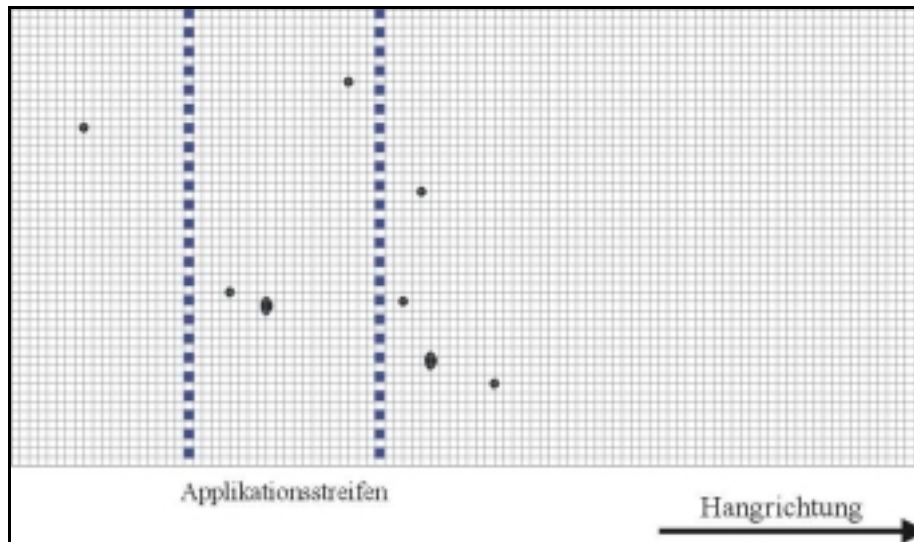


Abbildung 13: Horizontalschnitt in 50 cm Tiefe (Farbtracermuster)

Diese Makroporen wurden digitalisiert, wobei jede einzelne Makropore, auch bei Überlagerung mehrerer Kästchen, jeweils nur einem Kästchen zugeordnet wurde. Der Anteil der kontinuierlichen Makroporen (A_{MP}) an der Gesamtfläche wurde aus dem Verhältnis der Anzahl der Quadrate mit eingefärbten Makroporen (N_{MP}) und der Anzahl der Quadrate auf dem Applikationsstreifen (N_{AS}), der eigentlichen Herkunft des Tracers, ermittelt (Gleichung 3).

$$A_{MP} = \frac{N_{MP}}{N_{AS}} * 100$$

Gleichung 3

Bei Anwendung dieser Methode beträgt aufgrund der Kästchengröße von $0,25 \text{ cm}^2$ und der Applikationsstreifengröße von 250 cm^2 die Sensitivität $0,1 \%$. Um die Ergebnisse der Makroporenkontinuität ins Verhältnis zur ermittelten Makroporosität in der am tiefsten untersuchten Schicht (40 bis 50 cm Tiefenstufe) setzen zu können, wurde die Makroporenkontinuität aus dem arithmetischen Mittel der 40 und 50 cm Horizontalschnitte berechnet.

5.2.1.3 Auswertung

Zur Auswertung der Ergebnisse wurde ein Verfahren herangezogen, welches zum Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben mit relativ kleinen Umfängen und großen Spannweiten geeignet ist (in SACHS 1999). Dieses Verfahren wird im Folgenden erläutert.

Um Veränderungen zwischen der konservierenden und der konventionellen Bodenbearbeitung zu ermitteln, wurden Differenzen gepaarter Beobachtungen (konservierende - konventionelle Bodenbearbeitung) gebildet. Diese Differenzen wurden zum einen direkt zur Infiltration zum anderen aber auch zu den ermittelten Parametern, die mögliche Infiltrationsunterschiede verursachen, bestimmt. Zu letzteren zählen die Parameter zur Beschreibung der Oberflächenverschlammungsanfälligkeit, der Veränderung der Bodenmatrix im Oberboden und der Veränderung der Makroporen.

Bei dieser Art der Bildung gepaarter Beobachtungen bedeutet eine positive Differenz, dass sich der betreffende Parameterwert in der konservierenden Bodenbearbeitungsvariante gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitungsvariante um den Betrag der Differenz erhöht. Dagegen bedeutet eine negative Differenz, dass in der konservierenden Bodenbearbeitungsvariante der betreffende Parameterwert um den Betrag der Differenz abnimmt.

Zum jeweiligen Parameter wird die gesamte Spannweite dieser Differenzen angegeben und als allgemeines Streuungsmaß zusätzlich die Medianstandardabweichung (MAD) berechnet. Um aus der gesamten Spannweite der Differenzen allgemeingültige Zusammenhänge bzw. Tendenzen zwischen konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung zum jeweilig betrachteten Parameter ableiten zu können, wurde der Median und das dazugehörige 90 % Konfidenzintervall gebildet und zur statistischen Absicherung der Vorzeichentest von DIXON U. MOOD 1946 durchgeführt.

5.2.2 Einfluss der Bodenbearbeitung auf Infiltration

5.2.2.1 Gesamtinfiltration in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsverfahren

Die Differenzen der Gesamtinfiltration zwischen einjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung (Versuch lt. Tabelle 11) streuen zwischen $-8,5$ und $+20,1$ mm. Sie ließen damit keinen Schluss auf Infiltrationsunterschiede zu. Auch der Median von $-0,2$ mm mit dem dazugehörigen Konfidenzintervall von $-4,3$ bis $+0,5$ mm deuteten darauf hin, dass keine Unterschiede in der Infiltration bestehen. Dies wurde durch die Annahme der Nullhypothese bei Anwendung des Vorzeichentest bestätigt. Die Medianstandardabweichung beträgt $4,3$ mm. Somit ist festzustellen, dass sich die Infiltration bei einjährig konservierender Bodenbearbeitung nicht von der konventionellen Bodenbearbeitung unterscheidet.

Die Differenzen zwischen mehrjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung (Versuch lt. Tabelle 12) streuen zwischen $-13,7$ und $+23,2$ mm. Obwohl diese Spannweite zunächst ebenfalls auf keine Unterschiede in der Infiltration schließen lässt,

kann trotzdem von einer erhöhten Infiltration bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung ausgegangen werden. Grund hierfür ist, dass der Median der Differenzen mit +4,6 mm und das dazugehörige Konfidenzintervall mit +4,2 bis +7,1 mm vollständig im positiven Bereich liegen. Außerdem konnte mit dem Vorzeichentest eine signifikante Zunahme der Infiltration nachgewiesen werden. Die Medianstandardabweichung betrug 4,5 mm.

Eine signifikant höhere Infiltration wird folglich nur durch dauerhafte Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung erreicht. Auf der Grundlage der eigenen Untersuchungen (Median+Konfidenzintervall), ist somit nach Umstellung von konventioneller Bodenbearbeitung auf dauerhafte konservierende Bodenbearbeitung festzustellen, dass 12 % (11,1-18,7 %) vom simulierten Niederschlag (38 mm in 20 min) mehr in den Boden infiltrierten.

Die Einbindung der Infiltrationsergebnisse in die Niederschlags-Abflussmodellierung wurde wie folgt vorgenommen. NASIM nutzt den HOLTAN-Ansatz zur Berechnung der Infiltration. Neben der maximalen Infiltrationsrate und dem Sättigungsgrad des Bodens benötigt der HOLTAN-Ansatz die Eingabe von Gleichgewichtsendinfiltrationsraten. Für die konventionelle Bodenbearbeitung berechnet das Modell die zur Infiltration benötigten Parameter aus den Eingabedaten. Um Unterschiede in der Infiltration zwischen konventioneller und dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung zu berücksichtigen, mussten die Unterschiede in der Endinfiltration aus den Berechnungsergebnissen abgeleitet werden sowie modifizierte Funktionsverläufe für die Infiltration in Abhängigkeit der Bodenfeuchte bestimmt werden. Diese Unterschiede in der Endinfiltrationsrate zwischen dauerhaft konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung werden im Folgenden dargestellt.

Das Konfidenzintervall für die Änderung der Endinfiltrationsraten liegt mit +0,21 bis +0,43 mm*min⁻¹ vollständig im positiven Bereich, so dass mit einer Erhöhung der Endinfiltrationsraten bei konservierender Bearbeitung gerechnet werden kann. Dies wurde durch den Vorzeichentest bestätigt. Im Median ergibt sich eine signifikante Erhöhung der Endinfiltrationsrate um +0,29 mm*min⁻¹. Die Differenzen in der Endinfiltration streuen im Bereich von -0,63 bis +1,53 mm*min⁻¹. Die Medianstandardabweichung beträgt 0,2 mm*min⁻¹.

Die im Median festgestellte signifikante Erhöhung der Endinfiltration um +0,29 mm*min⁻¹, bedeutet im Umkehrschluss, dass nach dem Erreichen der Gleichgewichtsendinfiltrationsraten der Oberflächenabfluss nach Umstellung der konventionellen Bodenbearbeitung auf dauerhafte konservierende Bodenbearbeitung um 2,9 m³/(ha* min) vermindert wird!

Vor Einstellung der Endinfiltrationsraten wirkt sich bereits ein signifikant verzögerter Abflussbeginn auf eine Reduktion des Oberflächenabflusses aus (ZIMMERLING ET AL. 2001). Dieser veränderte Infiltrationsverlauf wurde im Modell NASIM mit Hilfe der „modifizierten Bodenberechnungsfunktionen“ berücksichtigt (vgl. Kapitel 6.3).

5.2.2.2 Oberflächenverschlämmung

Das Ausmaß der Oberflächenverschlämmung wird durch die Parameter Mulchbedeckung, Gehalte an organischer Substanz und Aggregatstabilität beeinflusst. Daher werden die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren hinsichtlich dieser Parameter herausgearbeitet.

Bodenbedeckung

Bei einjähriger konservierender Bodenbearbeitung streuen die Differenzen der Bodenbedeckung zwischen +2,9 und +51 %, so dass von einer höheren Bodenbedeckung bei einjähriger konservierender Bodenbearbeitung ausgegangen werden kann. Bezogen auf den Median und das dazugehörige Konfidenzintervall ist bei praxisüblichen Verfahren mit einer höheren Bodenbedeckung von +12,5 % (+4,5 bis +22 %) auszugehen. Der Vorzeichentest bestätigte die zentrale Tendenz. Die Medianstandardabweichung beträgt 6,9 %.

Die Differenzen der Bodenbedeckung zwischen mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung und konventioneller Bodenbearbeitung zeigen ebenfalls deutlich höhere Bodenbedeckungsanteile bei den pfluglosen Verfahren. Die Spannweite reicht von –3 bis +51 %. Der Median ist mit 13,5 % auf vergleichbarem Niveau mit der einjährigen Konservierende Bodenbearbeitung. Die untere Grenze des Konfidenzintervalls beträgt +9,9 % und die obere Grenze beträgt +29,4 %. Der Vorzeichentest bestätigt die zentrale positive Tendenz. Die Medianstandardabweichung beträgt 6,4 %.

Organische Substanz

Die Differenzen in der organischen Substanz in der obersten Bodenschicht zwischen der einjährigen konservierenden und der konventionellen Bodenbearbeitung streuen in nur geringem Umfang von –0,51 bis +0,7 Masse-%. Der Median beträgt 0 Masse-% und das Konfidenzintervall für den Median reicht von 0 bis +0,17 Masse-%. Beim Vorzeichentest wird die Nullhypothese angenommen, so dass bei einjähriger konservierender Bodenbearbeitung keine signifikant höheren Gehalte in der organischen Substanz, trotz einer höheren Mulchauflage, in der obersten Bodenschicht nachgewiesen werden konnten. Die Medianstandardabweichung beträgt 0,09 Masse-%.

Im Gegensatz dazu führte das über mehrere Jahre nur flache Einmischen von Pflanzenresten bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung zu signifikant höheren organischen Substanzgehalten in der obersten Bodenschicht. Die Differenzen variieren zwischen Werten von –0,25 und +1,55 Masse-%. Der Median beträgt +0,4 % und das dazugehörige Konfidenzintervall reicht von +0,3 bis +0,6 Masse-%. Diese positive Tendenz wurde durch den Vorzeichentest bestätigt. Die Medianstandardabweichung beträgt 0,2 Masse %.

Aggregatstabilität

Die Differenzen der Aggregatstabilität zwischen einjähriger konservierender Bodenbearbeitung und konventioneller Bodenbearbeitung streuen zwischen $-14,3$ und $+32,8$ Masse-%. Obwohl der Median mit $+7,1$ % im positiven Bereich ist, liegt die untere Grenze des Konfidenzintervalls mit $-6,3$ Masse-% im negativen Bereich. Die Obergrenze beträgt $+12,1$ %. Durch Anwendung des Vorzeichentests konnten, entsprechend der Ergebnisse zu den Differenzen der organischen Substanz, keine Unterschiede in den Differenzen der Aggregatstabilität zwischen einjähriger konservierender Bodenbearbeitung und konventioneller Bodenbearbeitung festgestellt werden. Die Medianstandardabweichung ist mit $8,8$ Masse % relativ hoch.

Die Differenzen der Aggregatstabilität zwischen mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung und konventioneller Bodenbearbeitung streuen in ähnlich großem Umfang mit Werten zwischen -14 und $+25,3$ Masse-%. Der Median von $+7$ Masse-% in Verbindung mit dem dazugehörigen Konfidenzintervall von $+2$ bis $+13,7$ % deuten auf eine Zunahme von wasserstabilen Aggregaten an der Oberfläche. Diese positive Tendenz wird durch den Vorzeichentest bestätigt. Die Standardabweichung beträgt $6,7$ Masse-%.

Matrixflussanteil und Bodenabtrag

Als zusammenfassende Maße für die Oberflächenverschlammungsanfälligkeit nach konservierender Bodenbearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung können die Differenzen des Bodenabtrages und die Differenzen des Matrixflussanteils direkt unterhalb der Bodenoberfläche interpretiert werden.

Die Differenzen im Abtrag zwischen einjähriger konservierender Bodenbearbeitung und konventioneller Bodenbearbeitung streuen zwischen $-410,6$ und $+86$ g. Der Median von $+1,3$ g und das dazugehörige Konfidenzintervall von $-94,3$ bis $+16,7$ g deuten darauf hin, dass hinsichtlich Bodenabtrag keine Unterschiede zu erwarten sind. Dies wurde durch den Vorzeichentest bestätigt.

Die Differenzen des Bodenabtrages von mehrjähriger konservierende Bodenbearbeitung und konventioneller Bodenbearbeitung streuen zwischen -2596 g und $+602,5$ g. Da sowohl der Median mit $-92,1$ g als auch das gesamte Konfidenzintervall (-167 bis $-38,3$ g) im negativen Bereich liegen, ist von einem geringeren Bodenabtrag bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung auszugehen. Diese Tendenz wird durch den Vorzeichentest bestätigt.

Die Ergebnisse zum Matrixflussanteil lassen auf Grund der nur in geringem Umfang durchgeführten Versuche mit Farbtracerapplikation keine statistische Auswertung zu.

Die Differenzen im Matrixflussanteil unter dem Applikationsstreifen A (Applikation vor Simulationsbeginn) zwischen einjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung streuen von $-14,2$ bis $+52,1$ %. Der Median beträgt $+10,7$ %.

Im Gegensatz zur einjährigen konservierenden Bodenbearbeitung wird jedoch deutlich, dass zwischen mehrjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung die Spannweite der Differenz des Matrixflussanteils unter dem Applikationsstreifen A von +5,3 bis +74,6 % und dem Median von +24,6 % zu mehr Infiltration durch die gesamte Oberfläche führte.

Aus dem zweiten Streifen (Applikationsstreifen B), auf dem die Tracerapplikation 10 min Beregnungsbeginn erfolgte, lassen sich keine Unterschiede sowohl zwischen einjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung als auch zwischen mehrjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung ableiten. Beim ersten Fall streuten die Differenzen zwischen –36,6 und +45,3 % mit einem Median von +18,8 % und für den zweiten Fall streuten die Differenzen zwischen –12,9 und +18,5 % mit einem Median von +6,6 %.

5.2.2.3 Bodenmatrix

Lagerungsdichte

Der Vergleich der Lagerungsdichten in der Ackerkrume unterhalb der Lockerungsschicht zwischen einjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung zeigten keine signifikanten Unterschiede. Die Spannweite beträgt –0,1 bis +0,26 g*cm⁻³. Der Median deutet mit 0,07 g*cm⁻³ auf geringfügig höhere Dichten hin. Die untere Grenze für den Vertrauensbereich liegt mit –0,03 g*cm⁻³ bereits im negativen Bereich. Die Obergrenze beträgt +0,18 g*cm⁻³. Der Vorzeichentest ergibt keine signifikanten Unterschiede. Die Medianstandardabweichung beträgt 0,06 g*cm⁻³.

Dagegen lagert bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung die Unterkrume dichter. Die Spannweite der Differenzen beträgt –0,03 bis +0,36 g*cm⁻¹. Der Median zeigt eine um 0,16 g*cm⁻¹ höhere Lagerungsdichte. Das dazugehörige Konfidenzintervall von +0,05 bis +0,26 g*cm⁻¹ deutet auf die signifikante Zunahme der Lagerungsdichte bei der konservierenden Bodenbearbeitung hin und wird durch den Vorzeichentest bestätigt. Die Medianstandardabweichung beträgt 0,11 g*cm⁻³.

Porenvolumen

Spiegelbildlich zur Dichte verhält sich das Gesamtporenvolumen. Bei einjähriger konservierenden Bodenbearbeitung konnten keine Unterschiede im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung festgestellt werden. Die Differenzen streuen zwischen -9,8 und +3,8 %. Der Median beträgt -2,6 % und das dazugehörige Konfidenzintervall reicht von -6,8 bis +1,1 %. Der Vorzeichentest ergab keine signifikanten Unterschiede. Die Medianstandardabweichung beträgt 2,5 %.

Bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung konnte bei einer insgesamt großen Streuung (Spannweite: -13,6 bis +1,1 %) eine signifikante Abnahme des Gesamtporenvolumens nachgewiesen werden. Der Median beträgt –9,8 % und hat ein

Konfidenzintervall von $-1,9$ bis $-5,9$ %. Die Abnahme des Gesamtporenvolumens wurde durch den Vorzeichentest bestätigt. Die Medianstandardabweichung beträgt 4 %.

Auf welche Porengrößenbereiche die Verminderung des Gesamtporenvolumens bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung zurückgeht, sollte durch die Bildung von Differenzen zu den einzelnen Druckstufen pF 1,8, 2,5 und 3 errechnet werden. Bereits bei der Druckstufe pF 1,8, die dem wassergefüllten Porenanteil bei Feldkapazität entspricht, konnten keine signifikant Differenzen mehr festgestellt werden. Da diese Druckstufe dem Übergang von den weiten zu den engen Grobporen entspricht, kann man davon ausgehen, dass die Abnahme des Gesamtporenvolumens ausschließlich auf die Verringerung des weiten Grobporenvolumens zurückzuführen ist und somit keine Veränderungen in der Feldkapazität auftreten.

Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Die Differenzen in der gesättigten Wasserleitfähigkeit zwischen einjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung variieren zwischen -1072 und $+466$ cm^3d^{-1} . Sowohl der Median (-178 cm^3d^{-1}) als auch das gesamte Konfidenzintervall (-1066 bis -45 cm^3d^{-1}) liegen im negativen Bereich. Dies bedeutet, dass offensichtlich bereits bei einjähriger konservierender Bodenbearbeitung die gesättigte Wasserleitfähigkeit abnimmt. Durch den Vorzeichentest konnte diese Abnahme bestätigt werden. Die Medianstandardabweichung beträgt 308 cm^3d^{-1} .

Bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung streuen die Differenzen bei der gesättigten Wasserleitfähigkeit zwischen -615 und $+70$ cm^3d^{-1} . Der Median von -195 cm^3d^{-1} weist, wie bei der einjährigen konservierenden Bodenbearbeitung, auf eine Abnahme der gesättigten Wasserleitfähigkeit hin. Signifikante Unterschiede konnten jedoch nicht nachgewiesen werden. Als mögliche Ursache dafür ist der nur geringe Stichprobenumfang von 6 Differenzen bei der Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit zu nennen. So reichte bereits eine positive Differenz aus, um signifikante Unterschiede abzulehnen. Diese sechs Differenzen der Wasserleitfähigkeit korrelieren mit den dazugehörigen Differenzen der Lagerungsdichte ($R=0,82$). Wird basierend auf dieser Korrelation für die verbleibenden 8 Lagerungsdichten die dazugehörige gesättigte Wasserleitfähigkeit berechnet, so ergeben sich auch für die mehrjährige konservierende Bodenbearbeitung signifikant niedrigere Werte der gesättigten Wasserleitfähigkeit. Die Spannweite bleibt unverändert. Der Median beträgt dann -254 cm^3d^{-1} . Sowohl die untere als auch die obere Grenze liegen vollständig im negativen Bereich (-447 bis -155 cm^3d^{-1}). Die Medianstandardabweichung beträgt 138 cm^3d^{-1} .

5.2.2.4 Makroporen

Zur Makroporosität liegen zur einjährigen und zur mehrjährigen konservierenden Bodenbearbeitung nur jeweils 5 gepaarte Beobachtungen vor. Zur Makroporenkontinuität sind

es bei einjähriger konservierender Bodenbearbeitung nur 4 und bei mehrjähriger Bodenbearbeitung nur 3 Paare. Eine statistische Auswertung war so nicht möglich.

Makroporosität

Bei der einjährigen konservierenden Bodenbearbeitung streuen die Ergebnisse zur Makroporosität zwischen $-0,14$ und $+0,47$ Flächen-%. Der Median beträgt $+0,1$ Flächen-%. Die Ergebnisse zeigen, dass offensichtlich keine Unterschiede in der Makroporosität zwischen einjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung in 40 bis 50 cm Tiefe bestehen.

Das Gleiche trifft auch für die Makroporosität zwischen mehrjähriger konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung zu. Die Differenzen streuen zwischen $-0,71$ und $+0,3$ Flächen-%. Der Median beträgt $0,01$ %.

Die berechneten Makroporendurchmesser, die der Bestimmung der Makroporosität zugrunde liegen, sind plausibel. Insbesondere die Durchmesser am Median von $4,5$ mm und das dazugehörige Konfidenzintervall von $2,9$ bis $4,9$ mm entsprechen den Literaturangaben für Poren in denen Makroporenfluss möglich ist (BEVEN u. GERMANN 1982).

Makroporenkontinuität

Bei einjähriger konservierender Bodenbearbeitung kann auch keine höhere Makroporenkontinuität nachgewiesen werden. Die Differenzen streuen zwischen $-0,92$ und $+0,3$ Flächen-%. Der Median beträgt $-0,05$ Flächen-%.

Dagegen liegen alle Differenzen zur Makroporenkontinuität zwischen mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung und konventioneller Bodenbearbeitung im positiven Bereich. Die Differenzen streuen zwischen $+0,55$ und $+1,2$ Flächen-%. Der Median beträgt $+0,9$ -Flächen-%.

5.2.2.5 Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Einjährige konservierende Bodenbearbeitung

In Anbetracht, dass bei einjähriger konservierender Bodenbearbeitung keine Unterschiede in der Infiltration bei signifikant höherer Bodenbedeckung festgestellt wurden, muss davon ausgegangen werden, dass bei der praxisüblichen Bodenbedeckung durch Mulchmaterial (Konfidenzintervall um $4,5$ bis 22 %) kein ausreichender Schutz der Bodenoberfläche vor auftretenden Niederschlagstropfen mit Auswirkung auf die Oberflächenverschlammung besteht. Dies wird bestätigt durch RAWLS u. RICHARDSON 1983, die bei einer Oberflächenbedeckung mit Mulchmaterial unter 20 % kaum Veränderungen im Oberflächenabfluss feststellen konnte. Ein Schutz vor Oberflächenverschlammung wird durch die praxisübliche Mulchdecke offensichtlich erst in Verbindung mit einer Erhöhung der organischen Substanz und der Aggregatstabilität erreicht. Bei einjähriger konservierender

Bodenbearbeitung konnten jedoch noch keine Unterschiede sowohl für die organische Substanz als auch für die Aggregatstabilität nachgewiesen werden.

Ein weiterer möglicher Grund dafür, dass keine Infiltrationsunterschiede festgestellt werden konnten, sind in einer signifikanten Abnahme der gesättigten Wasserleitfähigkeit der Unterkrume zu sehen, auch wenn für diese Schicht im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung noch keine signifikanten Unterschiede in der Lagerungsdichte bzw. im Porenvolumen statistisch gesichert nachgewiesen werden konnten. Eine Makroporeninfiltration ist jedoch nicht bzw. nur begrenzt möglich, da sich im ersten Jahr der konservierenden Bodenbearbeitung weder eine höhere Makroporosität noch eine höhere Makroporenkontinuität aufbauen konnte.

Dies verdeutlicht auch Abbildung 14. Darin sind die Fließmuster bei konventioneller und einjähriger konservierender Bodenbearbeitung eines Zuckerrübenbestandes dargestellt, dessen Oberflächen vor Versuchsbeginn nicht verschlämmt waren. Bei einjähriger konservierender Bodenbearbeitung nehmen unterhalb von 10 cm Tiefe die mit dem Farbtracer eingefärbten Bodenbereiche drastisch ab. Eine vertikale Verlagerung unterhalb der Krume konnte nicht festgestellt werden. Dagegen ist in der konventionellen Variante in der gesamten erst vor der Aussaat gepflügten Ackerkrume, eine relativ gleichmäßige in der Bodenmatrix stattfindende vertikale Wasserbewegung festzustellen. Die plötzliche Abnahme der gesättigten Wasserleitfähigkeit an der Grenze zwischen lockerer Krume und Unterboden induzierte dann in der konventionell bearbeiteten Parzelle präferenziellen vertikal ausgerichteten Fluss in Makroporen und in, wahrscheinlich sich durch höhere Wasserleitfähigkeit auszeichnenden, gebleichten Bodenbereichen.

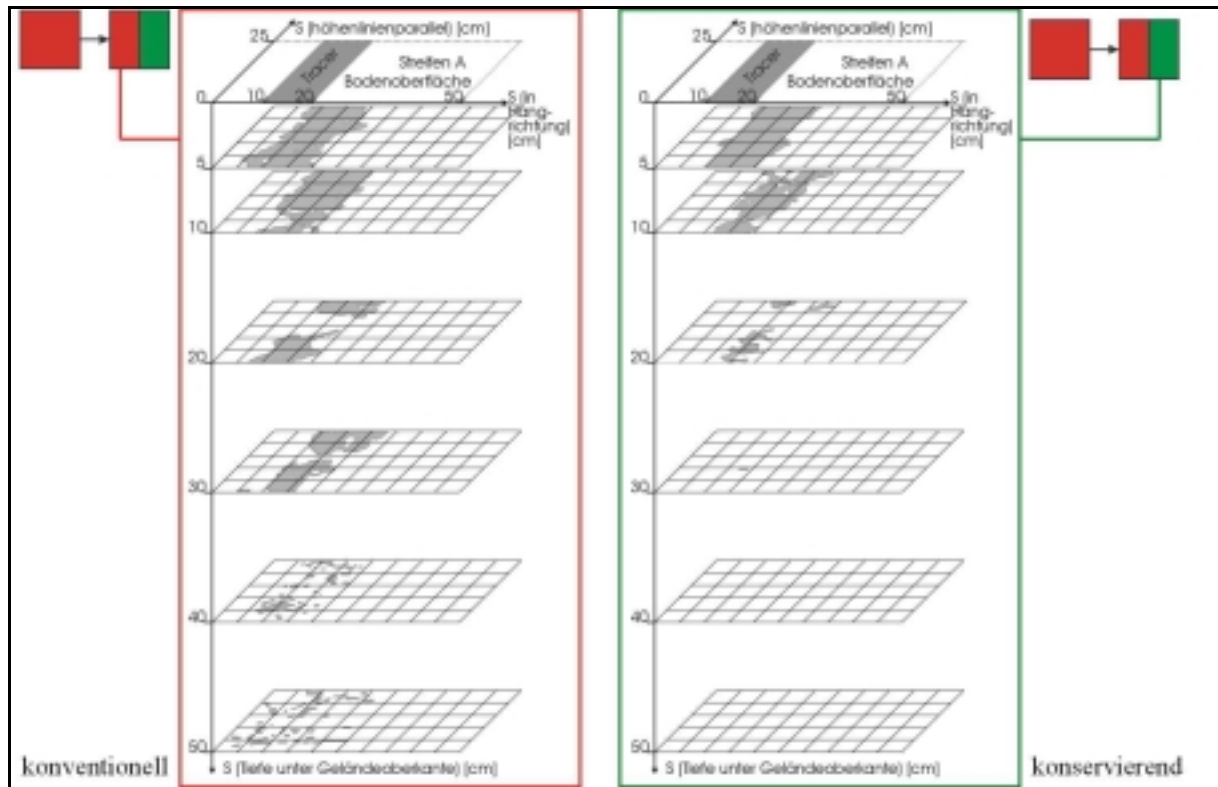


Abbildung 14: Das Vordringen von Infiltrationswasser auf einen Zuckerrübenschlagen bei konventioneller und einjähriger konservierender Bodenbearbeitung (Farbtracermuster)

Mehrfährige konservierende Bodenbearbeitung

Bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung wurde eine signifikant höhere Infiltration als bei konventioneller Bearbeitung festgestellt. Ursachen dafür sind in einer grundlegenden Änderung von infiltrationsbeeinflussenden Bodeneigenschaften zu sehen.

So wurden bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung im Gegensatz zur konventionellen Bodenbearbeitung entsprechend der höheren organischen Substanzgehalte eine signifikant höhere Aggregatstabilität nachgewiesen. Die damit im Zusammenhang stehende geringere Verschlammungsanfälligkeit konnte durch die Bodenbearbeitungsversuche nachvollzogen werden. Mehrjährig konservierend bearbeitete Böden zeichnen sich durch einen größeren Matrixflussanteil direkt unterhalb der Oberfläche und einen verminderten Bodenabtrag aus.

Bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung kann sich zudem durch die geringere Oberflächenverschlammungsanfälligkeit in der Oberkrume auch eine typische Infiltrationsfront mit Ausbildung einer Sättigungs- bzw. Nass-, Übergangs- und Transportzone ausbilden. Ist die Infiltrationsfront bis an das untere Ende der Lockerungsschicht (Oberkrume) vorangeschritten, wird das weitere vertikale Vorschreiten der Infiltrationsfront behindert. Gründe hierfür sind eine festgestellte höhere Lagerungsdichte in der nicht mehr bearbeiteten Unterkrume mit einem geringeren Porenvolumen sowie einer Abnahme der gesättigten Wasserleitfähigkeit. Diese Veränderung der Matrixeigenschaften bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung wirkt eigentlich einer vertikalen Wasserbewegung in tiefere Schichten

entgegen. Folglich kann die erhöhte Infiltration zunächst nicht durch die Veränderung der Bodenmatrizeigenschaften erklärt werden. Bei konservierender Bodenbearbeitung finden vergleichbare bodenphysikalische Veränderungen jedoch erst in der Unterkrume statt, da die Oberkrume regelmäßig gelockert und Mulchmaterial eingemischt wird. Während bei der Direktsaat erst bei entsprechend hohen Niederschlagsintensitäten oberflächlich abfließendes Niederschlagswasser infolge von Infiltrationsüberschuss in Makroporen infiltrieren kann, ist bei der konservierenden Bodenbearbeitung durch das Auftreten eines positiven hydraulischen Potentials in der Grenzschicht zwischen Ober- und Unterkrume, der Übergang von Wasser aus der Bodenmatrix in Makroporen möglich. In den Versuchen konnte keine erhöhte Makroporosität nachgewiesen werden, jedoch eine höhere Makroporenkontinuität. Obwohl die festgestellte Zunahme der Makroporenkontinuität relativ gering ist, so muss sie doch neben der geringeren Oberflächenverschlammungsanfälligkeit als ein weiterer wichtiger Grund für die höhere Infiltration in konservierend bearbeiteten Böden angesehen werden. Insbesondere deshalb, da, im Gegensatz zur mehrjährig durchgeführten konservierenden Bodenbearbeitung, bei der konventionellen Bodenbearbeitung in keiner Makropore in 40 bis 50 cm Tiefe der vor der Beregnung oberflächlich applizierte Tracer nachgewiesen werden konnte. Der Nachweis des Tracers in Makroporen in 40 bis 50 cm bei mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung belegt dagegen, dass bei konservierend bearbeiteten Böden sowohl die Unterkrume als auch die reliktsche Pflugsohle an der Krumbasis in Makroporen durchflossen wurde.

Die plötzliche Zunahme der Lagerungsdichte und Abnahme der Wasserleitfähigkeit unterhalb der Lockerungsschicht in der Unterkrume ist offenbar eine wichtige Voraussetzung für das Einsetzen des Makroporenflusses. Makroporenfluss bei konservierender Bodenbearbeitung ist so nicht an das Auftreten von Oberflächenabflusswasser gebunden. Es ist davon auszugehen, dass das durch die gesamte Oberfläche in die Oberkrume infiltrierte Wasser bei zunehmender Aufsättigung im Grenzbereich zur Unterkrume von der Matrix in Makroporen übertritt und vertikal in tiefere Bodenschichten verlagert wird.

Die Abbildung 15 zeigt beispielhaft das Vordringen von Wasser während des simulierten Starkregens auf einem Zuckerrübschlag bei konventioneller (links) und mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung (rechts). Zu erkennen ist, dass sich die Fließmuster zwischen den Bearbeitungsvarianten völlig unterscheiden. Während bei der konservierenden Bodenbearbeitung der Boden direkt unterhalb des Tracerapplikationsstreifens im Horizontalschnitt in 5 cm Tiefe gleichmäßig mit Farbstoff eingefärbt ist, hat die Oberflächenverschlammung in der konventionellen Variante dazu geführt, dass nur noch im Mikrorelief induzierten Teilbereichen (Drillspur) Wasser durch die Oberfläche in den Boden eindringen konnte.

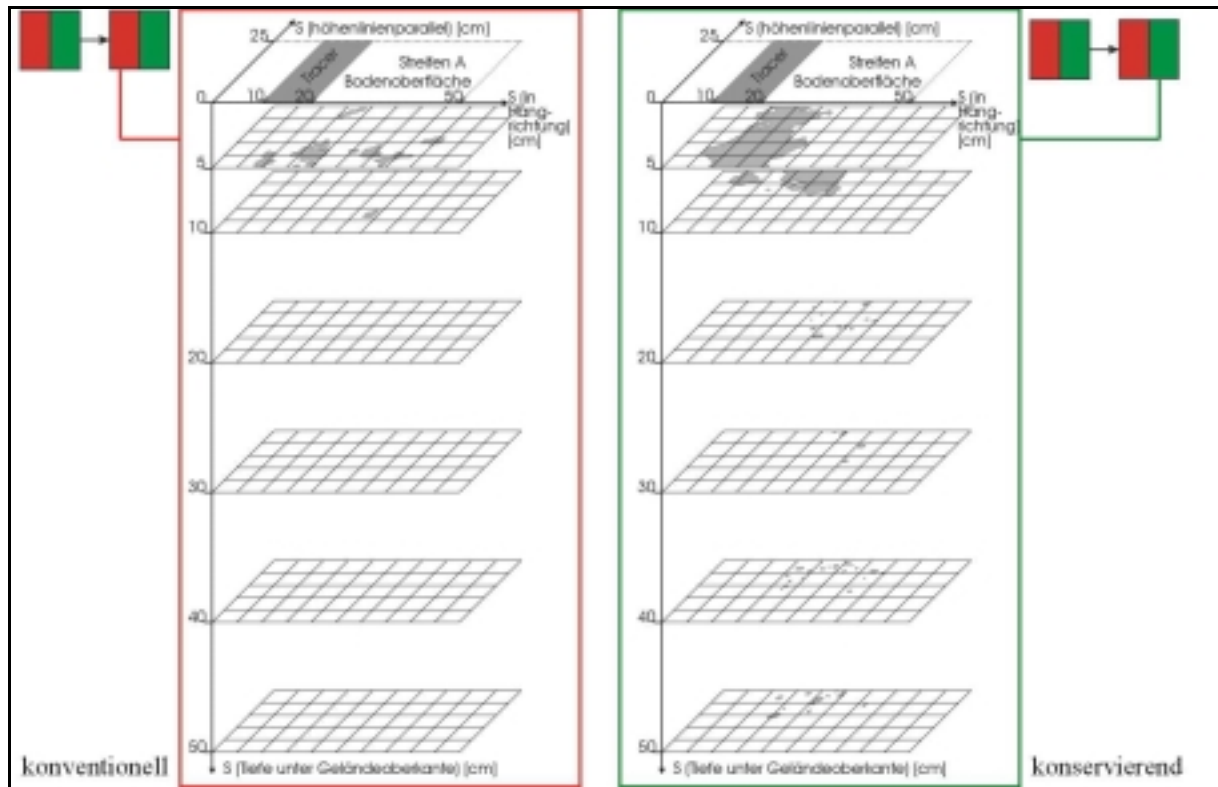


Abbildung 15: Das Vordringen von Infiltrationswasser auf einen Zuckerrübenschlagen bei konventioneller und mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung (Farbtracermuster)

In der Abbildung 16 sind für konventionell und mehrjährig konservierend bearbeitete Wintergerstenvarianten die Fließmuster dargestellt. In der konventionellen Variante (links) war bei diesem Beispiel im Horizontalschnitt in 5 und 10 cm Tiefe direkt unterhalb des Applikationsstreifens fast der gesamte Boden mit Tracer eingefärbt. Bodenverschlämmung spielte offensichtlich keine Rolle. Außerdem ist im Horizontalschnitt in 5 cm Tiefe eine lateral ausgebildete Tracerfahne zu erkennen, die allerdings durch vertikale Infiltration aus einer Oberflächenabflussbahn entstanden ist. Unterhalb 10 cm Tiefe konnte keine weitere vertikale Verlagerung nachgewiesen werden.

In der konservierenden Variante infiltrierte ebenfalls das Niederschlagswasser durch die gesamte Oberfläche in den Boden. Direkt unterhalb des Applikationsstreifens ist in 5 cm Tiefe der gesamte Boden eingefärbt. Eine durch Oberflächenabfluss bedingte laterale Tracerfahne war in dieser Tiefe nicht nachweisbar. In 10 cm Tiefe, dem Übergang von der Lockerungsschicht in die darunter gelegene dichter lagernde Schicht, deutet die gleichmäßige Bodeneinfärbung mit dem Tracer zwar auf eine gleichmäßige Fließbewegung in der Matrix hin. Jedoch kann die größere Flächenausdehnung auch durch Wasseraufstau verursacht sein. Zudem liegt der eingefärbte Bodenbereich nicht mehr direkt unterhalb des Applikationsstreifens. Es hat offenbar eine laterale, hangabwärts gerichtete Bodenwasserbewegung auf der dichter lagernden Schicht stattgefunden. Ein solcher hangabwärts gerichteter Fließprozess in der gesamten Bodenmatrix kann auftreten, wenn es bei vorhandener Hangneigung zu einer plötzlichen Hemmung der vertikalen Infiltration kommt. Im dargestellten Versuch kam es jedoch nicht zur Ausbildung eines lateralen Flusses im Sinne

eines Zwischenabflusses, da das Wasser bei dem in dieser Zone herrschenden positiven hydraulischen Potenzials aus der Matrix in vorhandene, kontinuierlich ausgerichtete, vertikale Makroporen übertrat und so die dichter lagernde Schicht mit geringerer Wasserleitfähigkeit passierte (s. Abbildung 16). Im Gegensatz zur gepflügten Bearbeitungsvariante standen so bei der konservierend bearbeiteten Variante tiefer gelegene Schichten zur Bodenwasserspeicherung bereits während des Niederschlagsereignisses zur Verfügung (s. Abbildung 16).

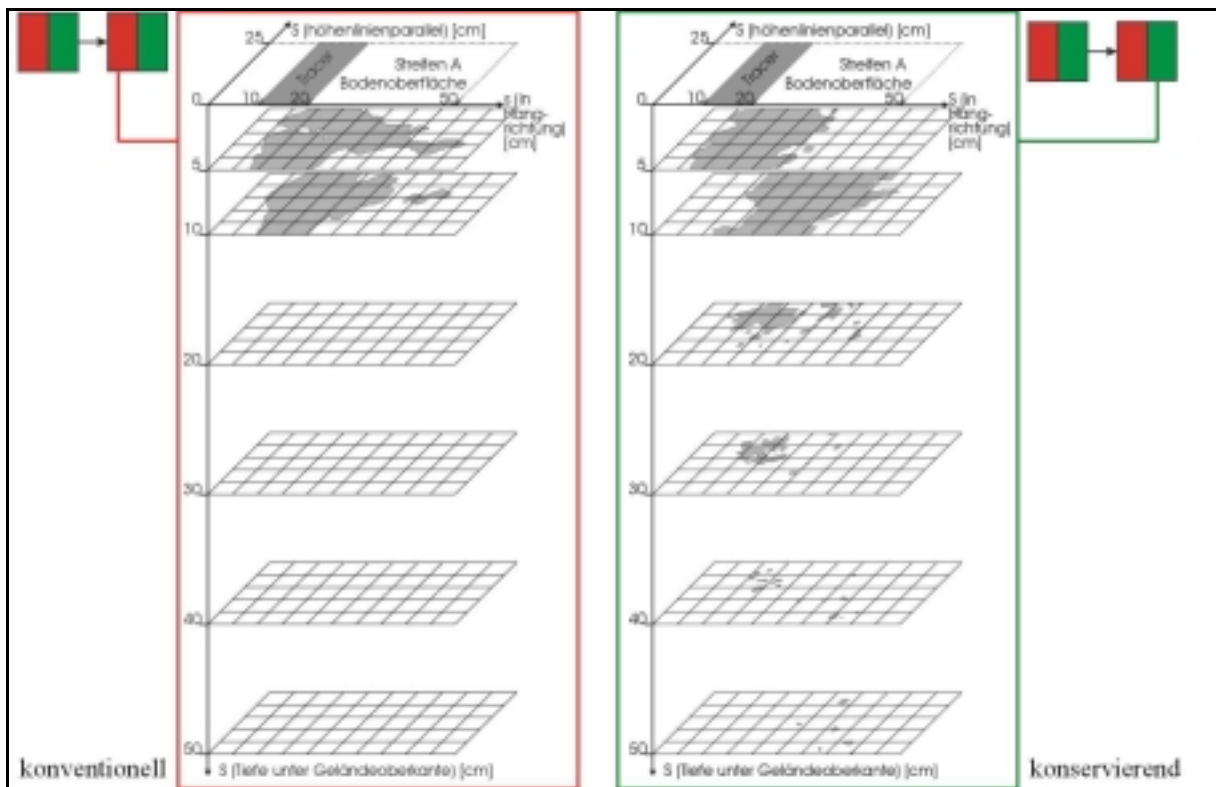


Abbildung 16: Das Vordringen von Infiltrationswasser auf einen Wintergerstenschlag bei konventioneller und mehrjähriger konservierender Bodenbearbeitung (Farbtacermuster)

Ursachen für große Spannweiten bzw. Medianstandardabweichungen

Zu den Ergebnissen in der Infiltrationsdifferenz zwischen den konservierenden und den konventionellen Bodenbearbeitungsvarianten wurden trotz festgestellter signifikanter Unterschiede, relativ große Spannweiten und Medianstandardabweichungen festgestellt. Im Folgenden sollen mögliche Ursachen wie z.B. Einflüsse der Fruchtfolge, die Art und Weise des angewandten Bodenbearbeitungsverfahrens innerhalb der konservierenden bzw. der konventionellen Bearbeitungsvarianten und unterschiedliche Zeitpunkte der Beregnungsversuche diskutiert werden.

Fruchtfolge

Insbesondere bei den Beregnungsversuchen in Winterweizenbeständen, wurden bei mehrjähriger konservierende Bodenbearbeitung wiederholt niedrigere Infiltrationsraten als bei

konventioneller Bodenbearbeitung festgestellt. Dies betraf aber nur Winterweizenbestände, die Zuckerrüben zur Vorfrucht hatten. Offensichtlich wird die Infiltration vorrangig durch die Vorfrucht beeinflusst. Nach SEKERA 1951 wirkt die Vorfrucht auf den Anteil wasserstabiler Aggregate. Der Anteil wasserstabiler Aggregate nimmt in Reihenfolge Hackfrüchte, Getreide, Klee, Raps, Gräser und Klee gras zu. Die höhere Aggregatstabilität beeinflusst direkt die Oberflächenverschlammungsanfälligkeit und damit das Infiltrationsgeschehen.

An Abbildung 17 wird der Einfluss verschiedener Vorfrüchte deutlich. Hierin werden Infiltrationsverläufe in Winterweizenbeständen von zwei benachbarten Ackerschlägen dargestellt.

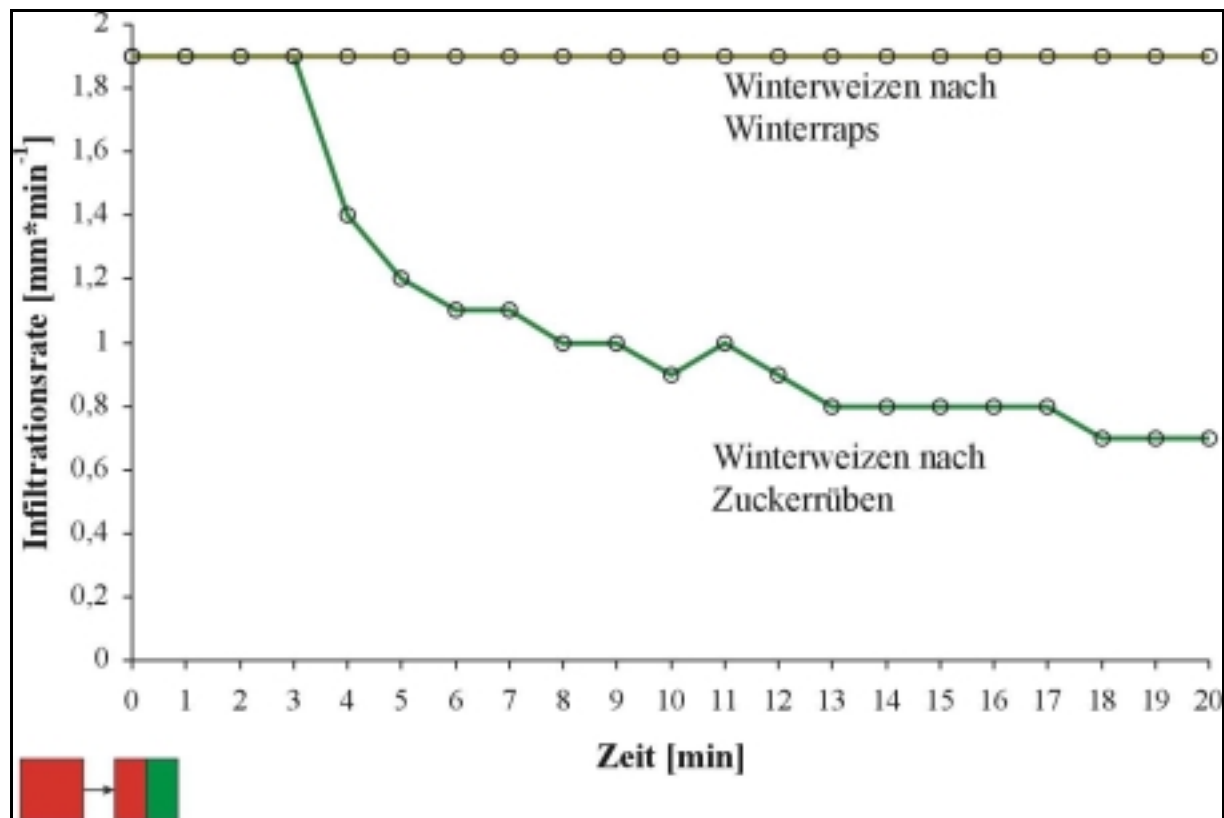


Abbildung 17: Einfluss unterschiedlicher Vorfrüchte auf die Infiltration

Die Beregnungen wurden zum annähernd gleichen Zeitpunkt durchgeführt. Beide Schläge zeichneten sich durch einjährige konservierende Bodenbearbeitung, gleiche Bodenart (stark toniger Schluff) und Anwendung gleicher Bodenbearbeitungstechnik aus. Der Unterschied bestand lediglich in unterschiedlichen Vorfrüchten. Während bei Winterweizen nach Vorfrucht Winterraps das gesamte Niederschlagswasser in den Boden infiltrierte, kamen im Winterweizenbestand nach der Vorfrucht Zuckerrüben nur ca. 56 % des Niederschlagswassers zur Infiltration. Der Grund für die deutlich höhere Infiltration nach der Vorfrucht Winterraps dürfte in einer, im Vergleich zur Vorfrucht Zuckerrüben um etwa 10 % höheren Aggregatstabilität liegen. Außerdem war die Unterkrume nach der Vorfrucht Winterraps durch eine Vielzahl von vertikalen Rapswurzelröhren durchbohrt, die einen „By-pass“-Fluss vergleichbar zum Fluss in kontinuierlichen Regenwurmröhren ermöglichten.

Unterschiedliche Verfahren der Bodenbearbeitung

Eine weitere Ursache für große Infiltrationsunterschiede liegen in der Art und Weise der Bodenbearbeitung bei konservierender bzw. bei konventioneller Bearbeitung. Die Abbildung 18 zeigt 2 Infiltrationsverläufe zweier unterschiedlich konservierend bearbeiteter Varianten, die direkt nebeneinander angelegt worden sind. Auf einer der beiden Varianten wurde zusätzlich zur normalen oberflächigen Grundbodenbearbeitung (Grubber 10 cm tief) eine Lockerung mit Schwergrubber bis zu 20 cm Tiefe durchgeführt. Obwohl bereits durch eine konservierende Bodenbearbeitung ohne diese zusätzliche Lockerung eine Verbesserung der Infiltration gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitung erreicht wurde, konnte die Infiltration durch die Lockerung nochmals um ca. 8 mm (ca. 21 % des Gesamtniederschlages!) gesteigert werden.

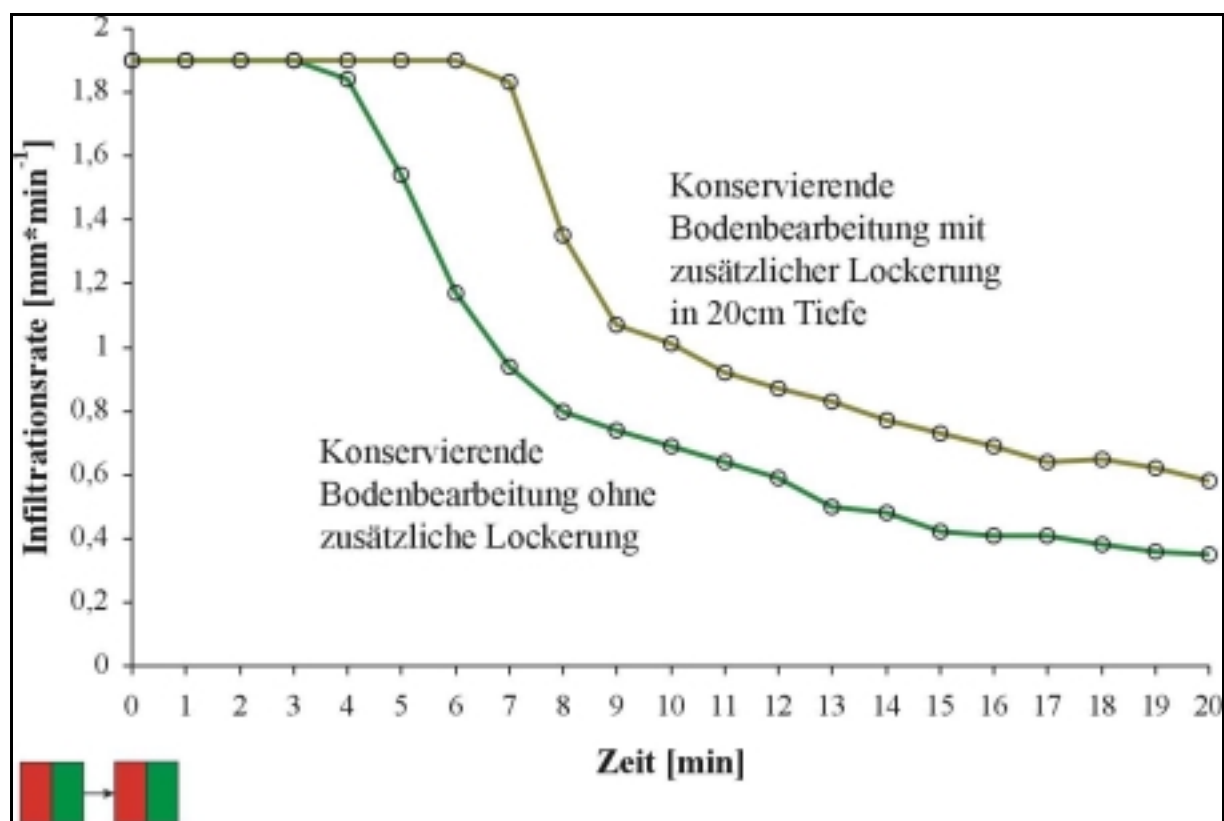


Abbildung 18: Einfluss unterschiedlicher Art und Weise der konservierenden Bodenbearbeitung auf die Infiltration

Die diesbezügliche Wirkung kann nicht mit einer geringeren Verschlämmungsanfälligkeit (Mulchbedeckung und Aggregatstabilität waren in den konservierenden Bodenbearbeitungsvarianten annähernd gleich) begründet werden. Vielmehr sind die Ursachen in einer geringeren Dichte in der Unterkrume zu sehen, die dann eine gleichmäßige Infiltration im gesamten Ap-Horizont, vergleichbar mit den konventionellen Bodenbearbeitungsvarianten ermöglicht. Der Boden wird bei dieser Lockerung durch einen Schwergrubber angehoben und der Bodenverband der Unterkrume aufgebrochen. Die dadurch entstandenen grobscholligen Bodenfragmente regeln sich aber relativ schnell wieder ein, so dass nicht mit einer langanhaltenden Wirkung einer solchen Lockerung zu rechnen ist.

Allerdings kann nach erneuter Einregelung der Fragmente bei positiven hydraulischen Potenzial an den zurückbleibenden Bruchkanten (Interaggregatzwischenräumen) ebenfalls ein Makroporenfluss ausgelöst werden. Jedenfalls wurden diese Infiltrationsunterschiede zwischen den konservierenden Bodenbearbeitungsvarianten auch dann festgestellt, wenn die Lockerung bereits 2 Jahre zurück lag.

Unterschiedliche Zeitpunkte der Beregnungen

Große Unterschiede in der Infiltration wurden auch bei Beregnungen in der gleichen Bodenbearbeitungsvariante und Fruchtart festgestellt, wenn diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattfanden. Als Beispiel hierfür sind in Abbildung 19 zwei Infiltrationsverläufe in einem konventionell bearbeiteten Winterweizenbestand dargestellt.

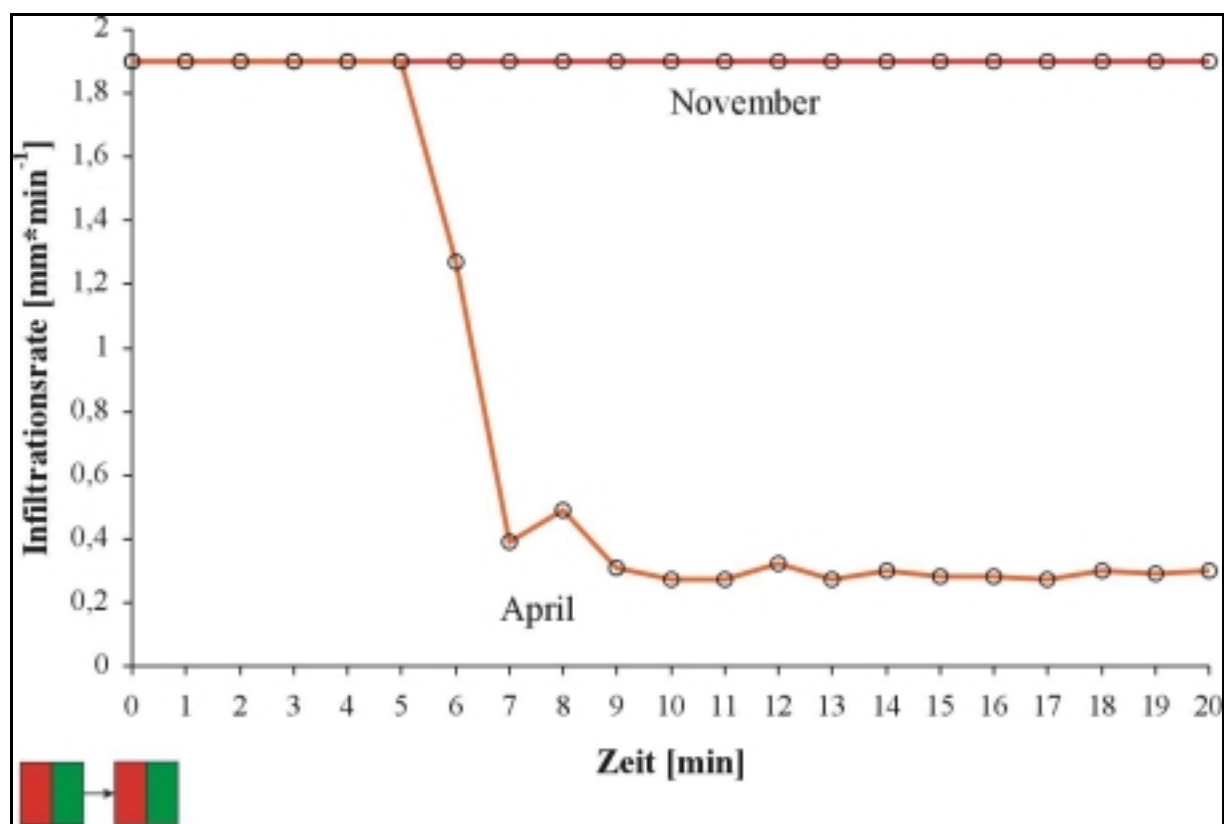


Abbildung 19: Einfluss des unterschiedlichen Zeitpunktes nach der konventionellen Bodenbearbeitung auf die Infiltration

Bei einer Beregnung die im November und damit relativ zeitnah nach der Bodenbearbeitung erfolgte, infiltrierte das gesamte Niederschlagswasser. Die Bodenoberfläche war zu diesem Zeitpunkt noch nicht durch natürliche Niederschläge verschlämmt. Zu dieser Zeit hatte der Winterweizenbestand lediglich eine Bodenbedeckung von 7 %. Bei der Beregnung im April infiltrierte nur noch ca. 38 % des Niederschlagswassers (Abbildung 19).

Offensichtlich hatte die deutliche Zunahme der Bodenbedeckung durch die Pflanzenentwicklung auf 33 % zu keinem ausreichenden Schutz vor Oberflächenverschlämzung geführt. Nach Frielinghaus et al. 1997 ist ein ausreichender Schutz vor Bodenverschlämzung mit grünen Pflanzenbestandteilen erst ab einem

Bedeckungsanteil von mindestens 50 % oder aber mit Pflanzenrückständen größer 2 t*ha^{-1} gegeben. Die deutlich herabgesetzte Infiltration im April kann nur im Zusammenhang mit der über die Wintermonate zunehmenden Oberflächenverschlämmung und einer Auffüllung der Bodenwasservorräte um ca. 5 Vol.-% erklärt werden. Außerdem kann generell mit einer allmählichen Setzung des Pflughorizonts gerechnet werden, die für eine Infiltrationsminderung verantwortlich gemacht werden könnte. Letzteres kann jedoch für dieses Beispiel nicht bestätigt werden, da keine Zunahme in der Lagerungsdichte nachgewiesen werden konnte.

5.3 Umsetzungspotenziale der konservierenden Bodenbearbeitung

Angesichts ihrer deutlich erosionsmindernden Wirkung wird in Sachsen die konservierende Bodenbearbeitung und Mulchsaat zu allen Fruchtarten im Sinne der guten fachlichen Praxis des Bundes-Bodenschutzgesetzes empfohlen und gezielt im sächsischen Programm Umweltgerechte Landwirtschaft mit 25 €/ha gefördert. Angestrebt wird hierbei eine möglichst dauerhafte konservierende Bodenbearbeitung im Fruchtfolgeverlauf, d. h. der pfluglose Anbau aller Fruchtarten, da erst hierdurch die bodenstrukturverbessernde, und damit infiltrationsfördernde, gleichzeitig erosions- sowie stoffaustragsmindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung voll zur Wirkung kommt. Konservierende Bodenbearbeitung und Mulchsaat werden in Sachsen in immer größerem Umfang praktiziert. So wurden 2001 bereits 20 % der sächsischen Ackerfläche (~ 147 Tsd. ha) im Rahmen des Agrarumweltprogramms Umweltgerechte Landwirtschaft konservierend und in Mulchsaat bestellt. Untersuchungen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) zeigen, dass konservierende Bodenbearbeitung und Mulchsaat bei den verschiedenen Fruchtarten nicht mit Ertrags- und Qualitätseinbußen verbunden sind.

Die tatsächlich konservierend bestellte Ackerfläche liegt in Sachsen gegenwärtig nach LfL-Schätzungen bei annähernd 40 %, und damit höher als die über das Programm Umweltgerechte Landwirtschaft geförderte Fläche. Der Grund hierfür ist, dass auch Nichtteilnehmer an diesem Agrarumweltprogramm in großen Umfängen konservierend bestellen. Im allgemeinen wird zu einzelnen Fruchtarten, und damit auf wechselnden Ackerflächen, auf den Pflug verzichtet. Auch eine dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung wird in vielen Betrieben bereits mehrjährig auf z. T. großen Flächeneinheiten (bis zu 3.000 ha/Betrieb) erfolgreich praktiziert.

Damit ist davon auszugehen, dass die für einen hochwassermindernden Effekt auf großen Flächenumfängen erforderliche Anwendung konservierender Bodenbearbeitung erreicht werden kann.

6 Niederschlags-Abfluss-Modellierung bei verschiedenen Bewirtschaftungsszenarien (W)

6.1 Methodik

Simuliert wurde die Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße für ausgewählte hochwasserverursachende Niederschlagsperioden der vergangenen Jahre und zwar

- a) für den Ist-Zustand
- b) für angenommene Realisierungsstufen konservierender Bodenbearbeitung.

Um das Hochwassergeschehen im gesamten Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße untersuchen zu können, bedurfte es der Anwendung eines hydrologischen flächendetaillierten Niederschlags-Abfluss-Modells. Mit Hilfe des Modells NASIM [HYDROTEC, 1999] wurde die Abflussbildung aller landwirtschaftlichen, natürlichen und besiedelten Flächen erfasst. Darüber hinaus wurde das Einzugsgebiet in hydrologische Untereinheiten (Teileinzugsgebiete) gegliedert und deren Abflusskonzentration berechnet (siehe Kapitel 6.1.1).

Es versteht sich von selber, dass ein Simulationsmodell nur so realistische Ergebnisse liefert, wie es die Eingangsdaten zulassen. Diese Einsicht spiegelt sich nicht nur in der modelltechnische Vorgehensweise sondern auch in der Gesamtkonzeption dieses Forschungsvorhabens wider :

Die Vielzahl der hydrologischen Prozesse, die im Modell NASIM nachgebildet und die damit verbundene Zahl verschiedenster Modellparameter ist das Ergebnis interdisziplinärer Zusammenarbeit. Es wurden Parameter ermittelt, die das Abfluss- und Speicherverhalten auf landwirtschaftlichen Flächen, im Boden, auf versiegelten Flächen aber auch im Gewässer in Abhängigkeit von den räumlich und zeitlich variablen Randbedingungen (Landnutzung, Bodenfeuchte) abbilden. Des Weiteren wurden Modellparameter unter verschiedenen Bedingungen der landwirtschaftlichen Nutzung und die Änderung der Infiltrationseigenschaften durch konservierende Bodenbearbeitung quantifiziert. Dieses setzte eine Reihe von Detailuntersuchungen an landwirtschaftlichen Testflächen voraus, die von den Projektpartnern aus den Bereichen Bodenkunde und Landwirtschaft ausgeführt wurden (vgl. Kapitel 5.2).

Bezüglich der siedlungswasserwirtschaftlichen Komponente wurden seitens des Institutes für Wasserwirtschaft bzw. seitens des Projektpartners Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH vorliegende Erkenntnisse aus abgeschlossenen Projekten eingebracht [SIEKER et. al., 2001].

Für eine möglichst gute modelltechnische Annäherung an den Ist-Zustand wurden die ermittelten Parameter nicht direkt auf das gesamte Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße angewendet sondern zunächst kleinere Testgebiete unterschiedlicher Größe ausgewählt. Im Rahmen dieser hydrologisch überschaubaren Testgebiete wurden die Modellparameter

kalibriert. Erst als in der kleinräumigen Skalenebene Hochwasserereignisse in befriedigender Form modelltechnisch nachgebildet werden konnten, wurde die Betrachtung auf das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße ausgeweitet.

Im Anschluss daran stand die Entwicklung und Untersuchung dezentraler Hochwasserschutzkonzepte im Vordergrund. Mit Hilfe der ermittelten Modellparameter soll die hochwasservermindernde Wirkung konservierender Bodenbearbeitung für das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße quantifiziert werden. Die abflussmindernden Konzepte für urbane Gebiete (vgl. Kapitel 4) wurden hierbei nicht mitberücksichtigt. Aufgrund des geringen Anteils von Siedlungsflächen im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße (siehe Kapitel 6.2) wurde auf die Einarbeitung dieses zusätzlichen Hochwasserschutzes verzichtet.

Bezogen auf die Niederschlag-Abfluss-Simulation beschränken sich die Änderungen zwischen dem Ist-Zustand und den angenommenen Szenarien auf den Abflussbildungsteil des Modells, die Modellbausteine „Abflusskonzentration“ und „Abflusstransport“ blieben unverändert.

Um das in diesem DBU-Forschungsvorhaben gebündelte Fachwissen auf die konkrete räumliche Situation im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße übertragen und anwenden zu können, ist ein weiteres wichtiges Element dieses Projektes zu nennen, das prägend für die Vorgehensweise ist. Ohne die Anwendung Geografischer Informationssysteme (GIS) ist das Entwickeln von Modellparametern in überschaubaren Testgebieten und das anschließende Übertragen auf das gesamte Einzugsgebiet bei gleichbleibender modelltechnischer Genauigkeit kaum zu realisieren. Die Stärken des GIS lassen sich darüber hinaus bei der Entwicklung verschiedener Hochwasserschutzszenarien nutzen, bei der verschiedenste begünstigende oder erschwerende Einflussfaktoren mit den potentiellen Umsetzungsflächen (landwirtschaftliche Nutzflächen) verschnitten werden können (siehe Kapitel 6.4). Nicht zuletzt dient das GIS zur grafischen Darstellung der Simulationsergebnisse mit räumlichen Bezug. So wurde zum Beispiel Abflussintensitätskarten erstellt, die als Entscheidungsgrundlage für die Entwicklung wasserwirtschaftlich begründeter Umsetzungsszenarien von großem Nutzen sind (siehe Kapitel 7.2 und insbesondere Abbildung 44 ff).

6.1.1 Modelltechnik

Im Zentrum der Projektbearbeitung steht das durch siedlungswasserwirtschaftliche Bausteine ergänzte Niederschlags-Abfluss-Modell NASIM, mit dem die hydrologischen Reaktionen des Einzugsgebietes der Lausitzer Neiße auf hochwasserverursachende Niederschläge simuliert wurden und zwar im Vergleich zwischen dem Ist-Zustand und den angenommenen Hochwasserschutzszenarien.

In enger Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Wasserwirtschaft und der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH wird das Modell NASIM eingesetzt und die dafür notwendigen Vorarbeiten, insbesondere die GIS-technische Bearbeitung der Flächendaten, ausgeführt.

Für die Verwendung von NASIM, das bereits im DBU-Forschungsvorhaben „Innovative Hochwasserreduzierung durch dezentrale Maßnahmen am Beispiel der Saar“ [SIEKER et. al., 2001] eingesetzt wurde, sprechen folgende Leistungsmerkmale [HYDROTEC, 1999]:

- geschlossene Wasserbilanz
- Einzelereignisse und Langzeitsimulation
- räumlich differenzierte Niederschlagsverteilung
- Bodenfeuchtesimulation
- Anbindung an hydrodynamische Modelle zur Gerinneabflussberechnung
- Betrachtung der Grundwasserneubildung
- Schneehydrologie
- GIS Schnittstelle
- Einbindung urbaner Teilgebiete

Das Niederschlag-Abfluss-Modell hat eine weite Verbreitung gefunden. Es wird von Wasserverbänden, Umweltämtern, Hochschulen und Ingenieurbüros insbesondere im Land Nordrhein-Westfalen genutzt. Das Programm wurde im Zusammenhang mit dem DBU-Förderprojekt „Innovative Hochwasserreduzierung durch dezentrale Maßnahmen am Beispiel der Saar“ von der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH erworben und für dieses Projekt bereitgestellt.

Das Programm NASIM soll in seinen wichtigsten Funktionen als Niederschlag-Abfluss-Modell in komprimierter Form erläutert werden, um die Modellansätze darzustellen. Die hierbei aufgeführten Eingangsparameter, die in den verschiedenen Teilprozessen der N-A-Modellierung benötigt werden, bilden die Zielgrößen für die Datenbeschaffung (siehe Kapitel 6.1.2).

Niederschlagsdaten

Zur Berechnung der Niederschlag-Abfluss-Simulation werden ausgewählte hochwassererzeugende Niederschläge aus den Jahren 1997 und 1981 verwendet. Als Niederschlagsdaten stehen digitale Niederschlagsaufzeichnungen von insgesamt 16 deutschen Niederschlagsstationen zur Verfügung, darunter Stationen in den Orten Zittau, Görlitz, Guben und Eisenhüttenstadt. Die Daten wurden vom Meteorologischen Datenzentrum des BALTIC SEA EXPERIMENT (BALTEX) übergeben.

Belastungsbildung

Als Belastungsbildung werden in diesem Zusammenhang, soweit es sich um Niederschlag in Form von Schnee handelt, die Schneeakkumulations- und Schmelzprozesse bezeichnet. Für die Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland ist das kombinierte Temperatur/Snow-Compaction-Verfahren zur Berechnung der Schneeschmelzprozesse gut geeignet. Für die Berechnung der potentiellen Schneeschmelzrate wird angenommen, dass sie vorwiegend von

den Temperatur- und Strahlungsverhältnissen beeinflusst wird. Weitere wesentliche Einflüsse üben die Windgeschwindigkeit und die Luftfeuchtigkeit sowie der Wärmegehalt des Niederschlages und die Höhenlage des betrachteten Gebiets aus. Sie sind mit den Eichparametern als Mittelwerte über den Simulationszeitraum zu erfassen (OSTROWSKI & WOLF, 1991).

Belastungsaufteilung

Im Simulationsmodell NASIM werden sämtliche Komponenten des Wasserhaushaltes erfasst bzw. berechnet. Vor allem langfristige Bilanzrechnungen erfordern eine möglichst genaue Betrachtung der Verdunstung, da sie einen hohen quantitativen Anteil am Gesamtwasserhaushalt aufweist. Im Programmsystem erfolgt die Bestimmung der aktuellen Verdunstung durch getrennte Ermittlung der potentiellen Verdunstung und des verfügbaren aktuellen Wasserangebots im Interzeptions- und Bodenfeuchtespeicher (OSTROWSKI & WOLF, 1991).

Die Aussagen über die Bodenfeuchtesimulation beziehen sich auf den unversiegelten Teil eines Einzugsgebietes. Die versiegelten Flächen werden gesondert betrachtet. In unversiegelten Gebieten wird ein Teil des Niederschlages durch die Vegetation zurückgehalten und verdunstet (Interzeption). Auch etwaige Muldenverluste sind in der Interzeption enthalten. Die wesentlichen beeinflussenden Prozesse der Bodenfeuchte sind die Infiltration, aktuelle Evapotranspiration und Perkolation (Durchsickerung der oberen Bodenzone). Die Zusammenhänge zwischen den Prozessen sind nicht linear. In früheren NASIM Versionen wurde dieser Zusammenhang linear simuliert. Ab der Version 2.0 sind auch nicht lineare Funktionsverläufe möglich. Dabei werden analytische Lösungen der linearen Differentialgleichung für n -Lamellen nach der Methode von OSTROWSKI kombiniert [HYDROTEC, 1999]. Mit diesem Modell ist es möglich, eine unbeschränkte Anzahl von Bodenschichten einzugeben, die als hintereinander geschaltete Einzelspeicher behandelt werden.

Für die Modellierung unterschiedlicher Bodenbewirtschaftungsverfahren ist eine weitere Modelleigenschaft von großer Bedeutung, die entscheidenden Einfluss auf die Abflussbildung hat. Zur individuellen Anpassung der Abflussbildungs- und Bodenfeuchteprozesse bietet NASIM die Möglichkeit, die vorgegebenen Funktionen der Infiltration, Evaporation und Exfiltration (Perkolation) zu modifizieren. Um das unterschiedliche Infiltrations- und Wasserspeicherverhalten konventionell bzw. konservierend bearbeiteter Böden abbilden zu können, wurde von dieser Modelleigenschaft Gebrauch gemacht.

Abflusskonzentration

Grundlage bildet ein Geländemodell, welches mit den digitalen Teilgebietsgrenzen verschnitten wird. Es werden eindeutige Fließwege je Teilgebiet festgelegt. Daraus werden mit Hilfe einer Fließformel und unter Zuhilfenahme eines NASIM-Zusatzprogrammes Zeitflächenfunktionen abgeleitet. Die Zeitflächenfunktion sagt aus, wann welche

Flächenanteile eines Gebietes zum Oberflächenabfluss bezogen auf den Gebietsausgang beitragen.

Abflussretention

Für die Bestimmung der Abflussretention dienen Teilgebietsgrößen, Geländeformen, Gewässernetzdichte, Fließzeiten in städtischen Systemen und Pegelganglinien als Grundlage. Für die natürlichen Flächen werden Retentionskonstanten für den Basisabfluss, den Interflow und den Oberflächenabfluss festgelegt (städtische Flächen: Eingabe der Fließzeit).

Abflusstransport

Zur Berechnung der instationären Hochwasserwellenabläufe in offenen Gerinnen und Kanälen wird das hydrologische Verfahren nach KALININ-MILJUKOV angewandt. Der Grundgedanke dieses Verfahrens besteht darin, eine eindeutige Beziehung zwischen dem Abfluss und dem zugehörigen Wasservolumen für einen rechnerisch festzulegenden Gerinneabschnitt zu finden. Es wird angenommen, dass der Abfluss konstant bleibt, bis der Gesamtabfluss im Hauptgerinne und den Vorländern den bordvollen Abfluss übersteigt.

Das KALININ-MILJUKOV Verfahren, das für einzelne Gerinneabschnitte konstante geometrische Bedingungen voraussetzt, kann durch einen Korrekturfaktor Unstetigkeiten erfassen (Sohlgefälle, Rauigkeit, Krümmungsverluste etc.).

Für die Analyse extremer Hochwasser ist die zeitweise Speicherung des Abflusses in Vorlandspeichern zu berücksichtigen, die eine entscheidende Verformung der Hochwasserwelle bewirken kann. Es wird angenommen, dass nach Überschreiten des bordvollen Abflusses der Vorlandspeicher gefüllt wird und dabei der Abfluss im Hauptgerinne nicht weiter ansteigt.

Die Modellierung des Vorlandspeichers erfolgt wahlweise als Einzelspeicher oder Parallelkaskade. Bei Abbildung durch die Parallelkaskade steigt bei Vollenfüllung der Wasserstand im Gerinneabschnitt weiter an.

Flächendaten

Zur flächendetaillierten Betrachtung des Einzugsgebietes der Lausitzer Neiße benötigt NASIM sogenannte Elementarflächen, die die gleiche Nutzung, einen gemeinsamen Bodentyp und ein gemeinsames Teileinzugsgebiet aufweisen. Diese Elementarflächen werden bereits im GIS ArcView verschnitten und können dann in NASIM eingelesen werden.

6.1.2 Datenbeschaffung

6.1.2.1 Allgemeines

Nach Absprache mit den Projektpartnern wurde festgelegt, welche Arten von Flächendaten für die Projektbearbeitung notwendig bzw. wünschenswert sind. Hierbei standen die Flächendaten im Vordergrund, von denen Rückschlüsse auf das Abflussverhalten und insbesondere das Infiltrationsverhalten möglich sein könnten. Erst an zweiter Stelle rangierten die Flächendaten, die „ausschließlich“ der Frage des Umsetzungspotentials dienen.

Im einzelnen wurde versucht, über folgende Flächeninformationen für das deutsche Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße zu verfügen (siehe Tabelle 13):

Art der Flächendaten	Anmerkung	Einflussfaktor für folgende Prozesse
digitales Geländemodell (DGM)	liegt vor	<ul style="list-style-type: none"> Abflusskonzentrationsberechnung Bestimmung von Ausschlussflächen
digitales Landschaftsmodell (DLM)	liegt vor	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmung der Landnutzung Bestimmung von Ausschlussflächen
landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK)	liegt vor	<ul style="list-style-type: none"> Anhaltspunkt für bodenkundliche und landwirtschaftliche Kennwerte bei der Abflussbildungs-berechnung Bestimmung von Ausschlussflächen
forstwirtschaftliche Standortkartierung inkl. Angaben zu den Waldschäden (FSK/ WBK)	liegt vor	<ul style="list-style-type: none"> Anhaltspunkt für bodenkundliche und landwirtschaftliche Kennwerte bei der Abflussbildungs-berechnung
Kataster der dränierten Flächen	liegt <u>nicht</u> vor	<ul style="list-style-type: none"> Abflussbildungs-berechnung
bodengeologische Karte	liegt <u>nicht</u> digital vor	<ul style="list-style-type: none"> Abflussbildungs-berechnung Abflusskonzentrationsberechnung
hydrogeologische Karte	liegt <u>nicht</u> digital vor	<ul style="list-style-type: none"> Abflussbildungs-berechnung Abflusskonzentrationsberechnung
Angaben zur landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung und Anbaufrüchten	liegt <u>nicht</u> vor	<ul style="list-style-type: none"> Abflussbildungs-berechnung Bestimmung von Ausschlussflächen
Übersicht der Trinkwasserschutz-zonen	liegt <u>nicht</u> digital vor	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmung von Ausschlussflächen
Übersicht der Landschafts- und Naturschutzgebiete	liegt <u>nicht</u> digital vor	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmung von Ausschlussflächen

Tabelle 13: Aufstellung der notwendigen bzw. wünschenswerten Flächendaten bei optimaler Datenlage

Des Weiteren wurde eine Einschätzung vorgenommen, welche Kartenmaßstäbe bzw. Rasterauflösungen für die Modellierung des Einzugsgebietes sinnvoll sind. Dabei musste berücksichtigt werden, dass zum einen eine Differenzierung zwischen konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung im Modell möglich sein musste, und zum anderen die Komplexität des Simulationssystems die Kapazität der Rechner nicht übersteigt.

Rückblickend ist es jedoch zweifelhaft, ob diese Diskussion überhaupt geführt werden musste, angesichts der Tatsache, dass wenig Einfluss auf die Genauigkeit der bereitgestellten Daten genommen werden konnte. Ein Vergleich mit dem Angebot der deutschen Landesvermessungsämter zeigt, dass insbesondere die im zweiten Teil der Tabelle 13 aufgezählten Flächendaten nicht flächendeckend digital zur Verfügung stehen. Für die DLM-, DGM-, MMK-, FSK- bzw. WBK-Daten ist die Rasterauflösung auf eine Rasterweite von 25 oder 50 m begrenzt.

Es bleibt festzuhalten, dass die Festlegung des Maßstabes vielmehr von der Datenverfügbarkeit als von der oben beschriebenen Abwägung bestimmt wurde.

Bei der Suche nach den benötigten Daten war Hauptschwierigkeit, dass das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße im Bereich mehrerer Verwaltungen liegt. Schwerpunkt der Datenbeschaffung lag auf dem sächsischen Einzugsgebiet (vgl. Kapitel 3). Es wurde jedoch auch versucht, die polnischen und tschechischen Dateneigentümer zu ermitteln und Kontakt zu diesen Institutionen aufzunehmen. Diese Bemühungen haben jedoch zu keiner Bereitstellung von Daten geführt.

Doch auch innerhalb des deutschen Einzugsgebietes bestand durchaus das Problem, dass die notwendigen Gebietsdaten auf eine Reihe von Institutionen verteilt sind. So richtet sich der Umfang der Ansprechpartner nicht nur nach der Anzahl der betroffenen Bundesländer. In den Länder werden die digitalen Daten von verschiedenen Institutionen verwaltet.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde neben den Landesvermessungsämtern insbesondere mit den Landesumweltämtern, dem Staatlichen Umweltfachämtern, den Unteren Wasserbehörden, den Landwirtschaftsämtern, den Landratsämtern, den Stadtverwaltungen sowie mit den von diesen Behörden beauftragten Planungsbüros zusammengearbeitet, um annähernd die Informationen zusammenstellen zu können, die zu Beginn als wichtige Eingangsparameter für die Entwicklung eines flächenhaften dezentralen Hochwasserkonzeptes genannt wurden (siehe Tabelle 13; vgl. Anhang 1).

6.1.2.2 Darstellung der bereitgestellten digitalen Flächendaten

Anhand des Testgebietes Berthelsdorfer Wasser (vgl. Kapitel 6.2) soll im Folgenden graphisch dargestellt werden, welche Daten den Projektpartnern bereitgestellt wurden.

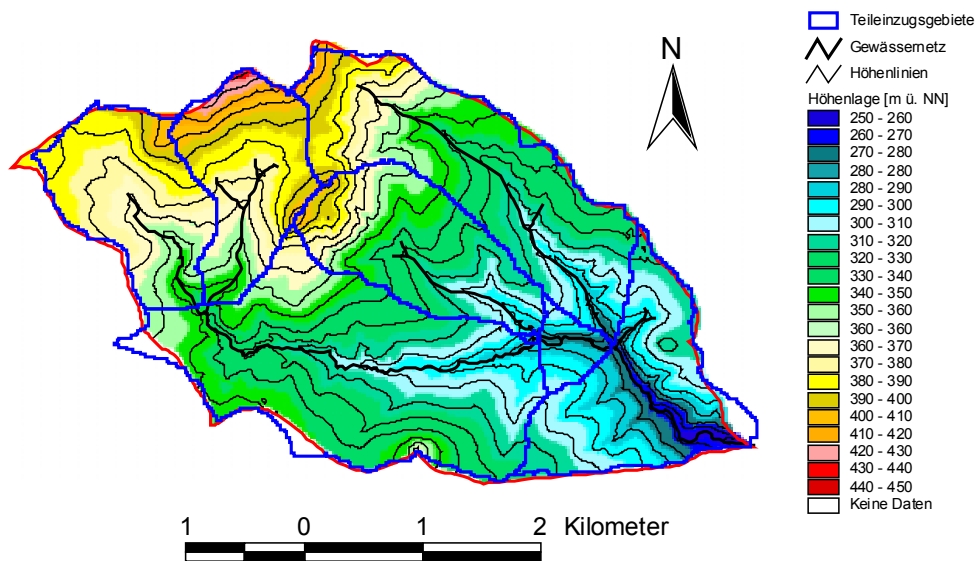


Abbildung 20: Digitales Geländemodell (DGM) des Einzugsgebietes Berthelsdorfer Wasser

Das digitale Geländemodell (DGM) liegt für das gesamte Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße mit einer Rasterauflösung von 20 Metern für den Sächsischen und mit einer Auflösung von 50 Metern für den Brandenburgischen Teil des Einzugsgebietes vor. Das DGM liefert insbesondere wichtige Informationen zur Abflusskonzentration. So können zum Beispiel in natürlichen Einzugsgebieten die Teilinzugsgebiete für die modelltechnische Nachbildung des Gebietes mit Hilfe des GIS berechnet werden. Das Ergebnis dieser Berechnung ist in Abbildung 20 dargestellt. Als nächster Schritt kann aus den theoretischen Fließwegen innerhalb der Teilinzugsgebiete die Zeitflächenfunktion bestimmt werden (vgl. Kapitel 6.1.1).

Abbildung 21 zeigt einen Ausschnitt des digitalen Landschaftsmodells (DLM) Sachsens. Es weist aus, welche Flächen für dezentrale abflusshemmende Maßnahmen theoretisch zur Verfügung stehen. Durch die Überlagerung der Teilinzugsgebiete des DGM mit dem DLM erhält jedes Teilinzugsgebiet eine individuelle, realitätsnahe Zusammensetzung der verschiedenen Landnutzungen. Je nach Lage und Landnutzungscharakter kann somit jedes Teilinzugsgebiet einen ganz unterschiedlichen Beitrag zum Hochwasserabfluss bzw. zum vorbeugenden Hochwasserschutz leisten.

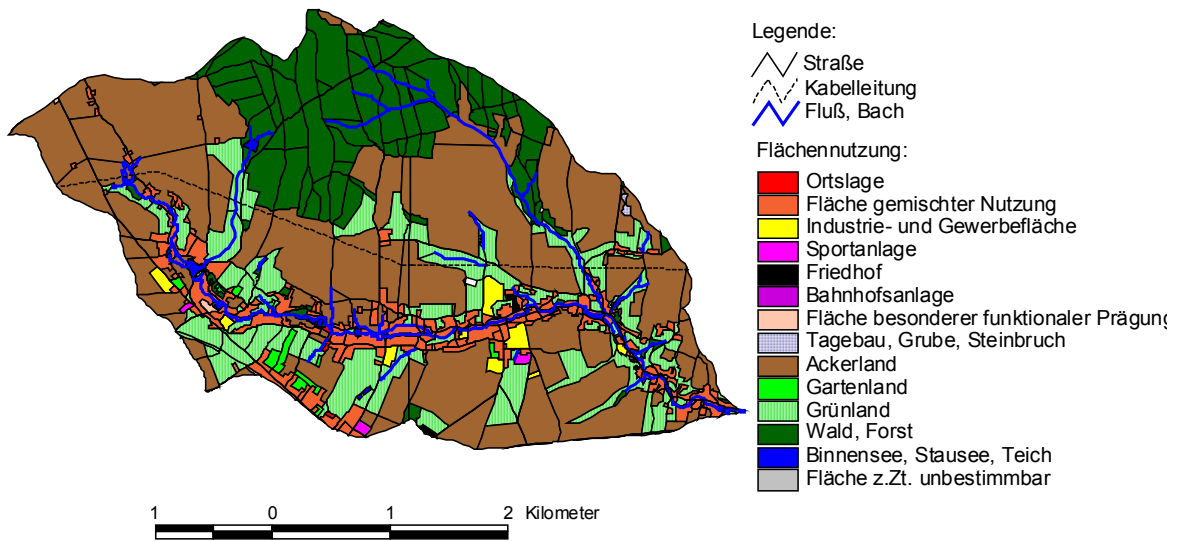


Abbildung 21: Digitales Landschaftsmodell (DLM) des Einzugsgebietes Berthelsdorfer Wasser

Damit die individuelle Betrachtung jedes Teileinzugsgebietes auch in Bezug auf die Bodeneigenschaften realisiert werden kann, haben sich die Projektpartner um die Bereitstellung der digitalen landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) bemüht (siehe Abbildung 22).

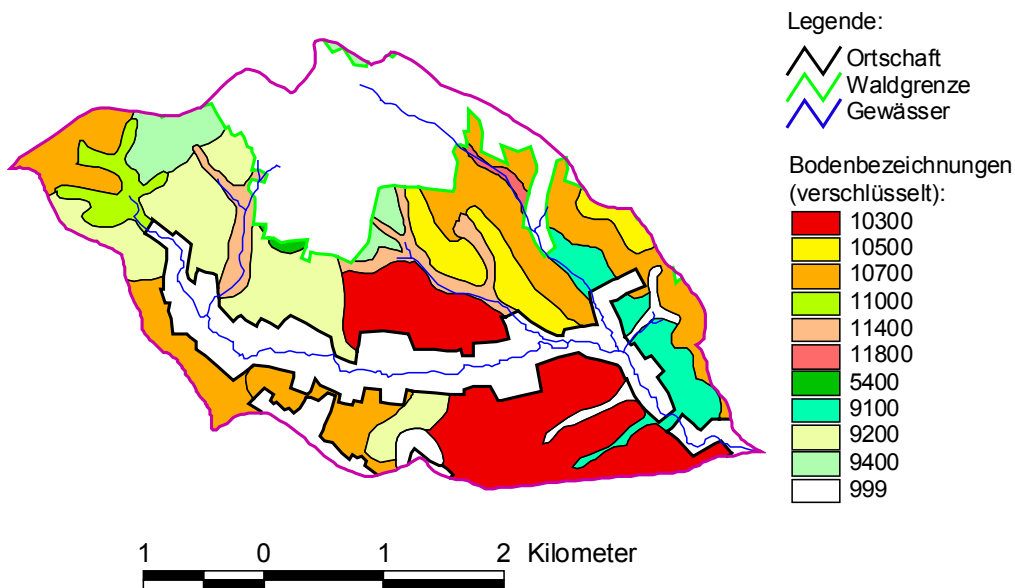


Abbildung 22: Digitale landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK) des Einzugsgebietes Berthelsdorfer Wasser

In Abbildung 23 ist die forstwirtschaftliche Standortkartierung (FSK) oder Waldbodenkarte (WBK) für das Einzugsgebiet des Berthelsdorfer Wassers dargestellt. In Bezug auf die erfassten Flächen besteht kein Unterschied zwischen der FSK der Sächsischen Landesanstalt für Forsten und der WBK des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Der Unterschied liegt in der Struktur der Datenbank. Die WBK ist gegenüber der FSK um einige rein forstwirtschaftliche Datenfelder reduziert worden. Im Gegensatz zur FSK steht die WBK für das gesamte sächsische Einzugsgebiet zur Verfügung.

Für das Forschungsvorhaben bedeutet die FSK/WBK eine Ergänzung der MMK, da diese nur landwirtschaftliche Flächen erfasst. Die forstwirtschaftlichen Flächen spielen bei der Umsetzung hochwasserreduzierender Maßnahmen eine untergeordnete Rolle. Für die N-A-Modellierung sind sie jedoch unverzichtbar, um eine flächendeckende Datengrundlage zu erhalten.

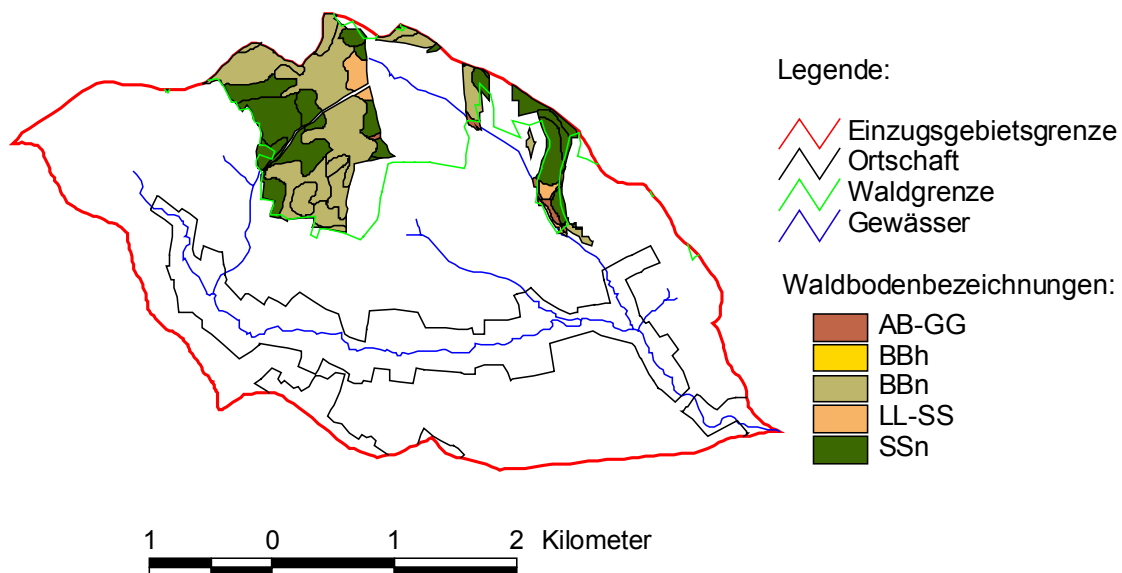


Abbildung 23: Digitale landwirtschaftliche Standortkartierung (FSK/ WBK) des Einzugsgebietes Berthelsdorfer Wasser

6.1.2.3 Weitere Daten für die Niederschlags-Abfluss-Modellierung

Neben den digitalen Flächendaten, auf denen der Schwerpunkt der Datenbeschaffung lag, wurden weitere meteorologische, hydrometrische und hydrologische Daten übergeben, ohne die eine Niederschlags-Abfluss-Modellierung nicht möglich gewesen wäre.

Als wichtigste Eingangsgröße ist die Information zum Niederschlagsgeschehen im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße zu nennen. Aufgabe des Projektes ist es, historische Hochwasserperioden genauer zu betrachten. Dazu gehört, den genauen zeitlichen Verlauf der Niederschläge während und vor den Hochwasserereignissen zu erfassen.

Dank der Tatsache, dass die Neiße in die Oder mündet und somit zum Einzugsgebiet der Ostsee gehört, bot sich dem Institut für Wasserwirtschaft die Möglichkeit, sich als „Data User“ im Baltic Sea Experiment (BALTEX) zu bewerben. Seit Februar 2000 ist das Institut für Wasserwirtschaft mit diesem DBU-Forschungsvorhaben als Data User registriert und konnte somit das Angebot der BALTEX-Datenzentren in Anspruch nehmen. Den deutschen Beitrag zum BALTEX liefert das Meteorologische Datenzentrum (BALTEX-MDC), das vom Deutschen Wetterdienst (DWD) betrieben wird.

Für das Forschungsvorhaben stellte das BALTEX-MDC Niederschlagsdatenreihen von 15 Niederschlagsstationen im deutschen Einzugsgebiet bereit. Leider handelt es sich bei diesen Daten um Tageswerte, die aufgrund ihrer zeitlichen Auflösung als Eingabedaten nicht geeignet sind. In der Literatur [DVWK, 1999] wird für die Berechnung von Hochwasserabflüssen in kleinen und mittleren Einzugsgebieten ein Simulationszeitschritt von kleiner 15 Minuten empfohlen, um die Abflussdynamik des Gewässersystems genau genug erfassen zu können. In Abbildung 24 wird der Einfluss des Berechnungszeitschrittes anhand von simulierten Ganglinien am Pegel Görlitz verdeutlicht. Es ist offensichtlich, dass bei zu großem Berechnungszeitschritt die Hochwasserspitzen nicht berechnet werden und die Abflussmaxima früher erreicht werden. Vor diesem Hintergrund muss die Berechnung mit kleinem Zeitschritt als unbedingt notwendig bezeichnet werden, auch wenn damit ein ungleich höherer Aufwand bei der Beschaffung von Niederschlags- und Wasserstandsdaten verbunden ist und ggf. Einschränkungen bei der Datenverfügbarkeit in Kauf genommen werden müssen.

Zeitlich hoch aufgelöste Niederschlagsdaten wurden ebenfalls vom BALTEX-MDC zur Verfügung gestellt, allerdings beschränken sich die Daten auf das hydrologische Jahr 1997 für die Station Görlitz. Des Weiteren übergab das BALTEX-MDC Temperaturmessreihen von 4 Wetterstationen.

Vom Deutschen Wetterdienst wurden HAUDE-Verdunstungswerte der Wetterstation Görlitz übergeben und die Niederschlagsdaten für die Hochwasserperiode Juni bis August 1981 erworben.

Die Kalibrierung des NASIM-Modells erfolgt anhand von Messpegeln des hydrologischen Jahres 1997. Die Daten wurden vom LfUG (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie) erhoben und in analoger Form übergeben. Zur Kalibrierung und Gegenüberstellung der Pegeldata mit den Ergebnissen der NASIM Berechnung, wurden die Wasserstandsdaten digitalisiert und in Abflüsse umgerechnet.

Eine vollständige Auflistung der Dateneigentümer sowie der bereitgestellten Daten kann dem Anhang 1 entnommen werden. Des Weiteren sei in Bezug auf die Datenakquise auf den Zwischenbericht des Forschungsprojektes verwiesen.

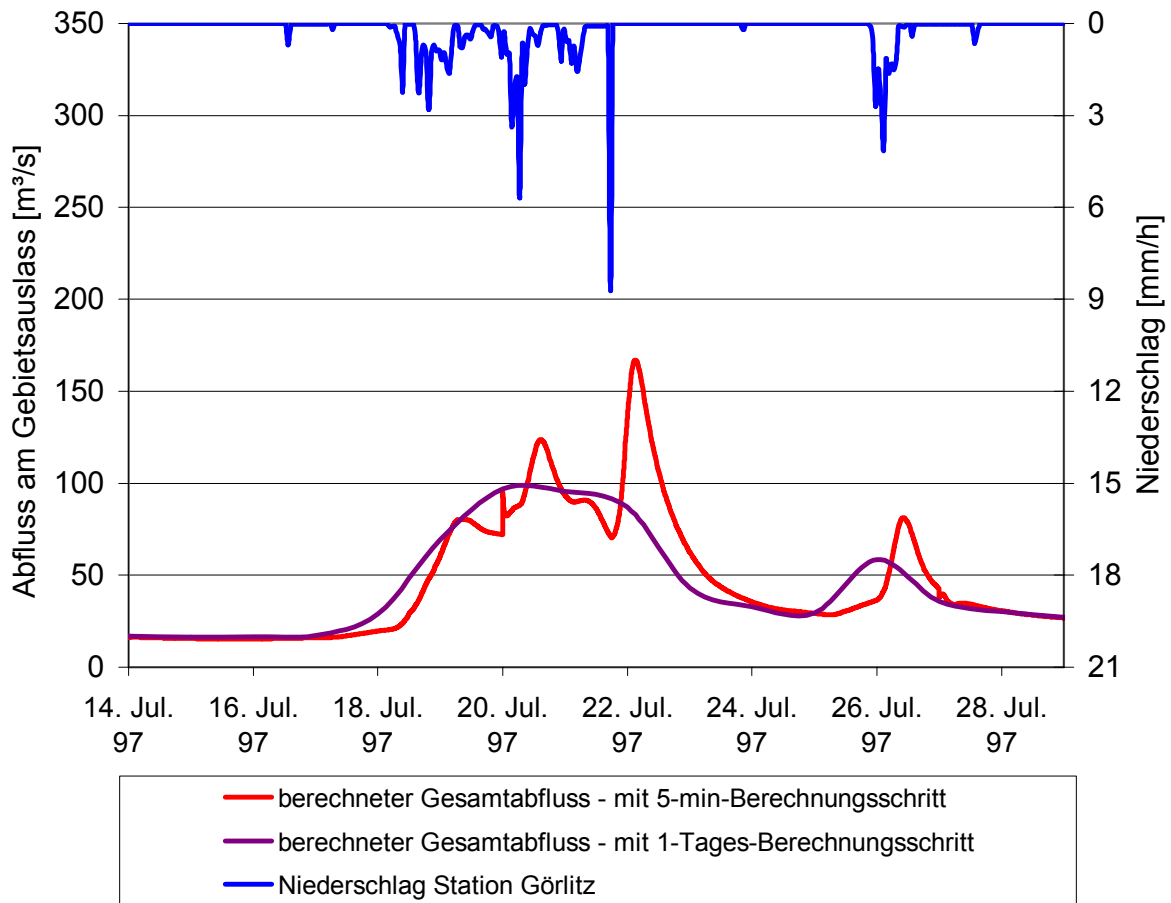


Abbildung 24: Abfluss am Pegel Görlitz mit unterschiedlichen Zeitschritten berechnet

6.1.3 Datenaufbereitung mit Hilfe Geographischer Informationssysteme

Die im Modell NASIM integrierten Elementarflächen werden in Anbetracht der Einzugsgebietsgröße mit dem Geographischen Informationssystem ArcView erstellt. Die erforderlichen Informationen zur Erstellung der Elementarflächen sind aus den Bodenkarten, Landnutzungskarten und Geländemodellen abgeleitet. Bevor es jedoch zur Verschneidung der unterschiedlichen Themenkarten kommt, müssen diese Flächendaten interpretiert werden. Dies geschieht schrittweise für jedes der Testgebiete und letztendlich für das gesamte Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße in enger Kooperation mit den Projektpartnern.

Als ersten Schritt müssen ähnliche Nutzungstypen und Bodentypen im Bezug auf ihr Hochwasserabflussverhalten sinnvoll zusammengefasst werden, da die vorliegenden Karten unter diesem Gesichtspunkt meistens zu fein untergliedert sind. So ist zum Beispiel eine Klassifizierung der Landnutzungsklasse „Wald“ in mehr als drei Klassen (Laubwald, Mischwald, Nadelwald) nur dann sinnvoll, wenn innerhalb dieser Klassen im Bezug auf Hochwasserentstehung eindeutig unterschiedliche Parameter bestimmbar sind (z.B. der Interzeptionsspeicher).

NASIM versucht mit der nichtlinearen Bodenfeuchtesimulation, die Prozesse im Boden möglichst genau wiederzugeben. Es sind deshalb eine Reihe von Eingangsparameter für die

Böden zu erheben. Neben der Bodenart und der Mächtigkeit müssen Angaben über das Gesamtporenvolumen, die Feldkapazität, den permanenten Welkepunkt, den kf-Wert und die maximale Infiltrationsrate gemacht werden. Weiterhin können, wie bereits erwähnt, die Böden in verschiedene Schichten unterteilt werden, denen wiederum unterschiedliche Bodenparameter zugeordnet werden.

Für die Landnutzung sind neben dieser noch Wurzeltiefe und Interzeptionsspeicher zu ermitteln. Sie werden anhand von Literaturdaten und Erfahrungswerten der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft angenommen. Für beide Größen lassen sich in NASIM jahreszeitliche Ganglinien angeben, die die saisonalen Unterschiede bei der Landnutzung berücksichtigen.

Vor der Interpretation und Vorbereitung der Datenübergabe an das Modell NASIM war eine langwierige Prüfung der Daten notwendig. Da die Daten von verschiedensten Institutionen des Landes Sachsen erstellt und zur Verfügung gestellt wurden (vgl. Kapitel 6.1.2), musste unter Berücksichtigung der großen Datenmengen eine systematische Analyse und Korrektur vorgenommen werden. Beispielsweise wurden mit Hilfe von ArcView Zusatzprogramm die Datengrundlagen nach überlappenden oder übereinander liegenden Informationsflächen durchsucht und nach Einzelprüfung die irrelevanten Informationen herausgefiltert. Diese Arbeitsschritte mussten der eigentlichen fachlichen Datenaufbereitung vorangestellt werden, um von einer konsistenten Berechnungsgrundlage ausgehen zu können.

Die hier beschriebenen Arbeitsschritte stellen eine wichtige Schnittstelle zwischen der Projektarbeit der Wasserwirtschaft, der Bodenkunde und der Landwirtschaft. Hier fließen die in Kapitel 3.2 und 5 vorgestellten Ergebnisse der Projektpartner Institut für Bodenkunde, Universität Hannover und Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft ein, ohne die eine sinnvolle Dateninterpretation nur schwer zu leisten wäre.

6.2 Beschreibung der modelltechnischen betrachteten Gebiete

Wie schon in Kapitel 6.1 erläutert, dienen die im Folgenden vorgestellten Testgebiete der schrittweisen modelltechnischen Annäherung an das Abflussgeschehen im Gesamteinzugsgebiet.

Neben der Frage der Hochwasserrelevanz und dem Bezug zum Kloster St. Marienthal war bei der Suche nach geeigneten Standorten die Verfügbarkeit von Gebietsdaten, meteorologischen- und insbesondere hydrometrischen Daten entscheidend.

Ursprünglich war vorgesehen als kleinstes der Testgebiete ein Gebiet im Ortsteil Leuba bei Ostritz zu betrachten und erste Erkenntnisse in Bezug auf das Abflussverhalten von Ackerflächen zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurden umfangreiche bodenkundliche Untersuchungen in dem Gebiet vorgenommen und mit gleichzeitig kontinuierlichen Abflussmessungen am Gebietsauslass begonnen.

Für die modelltechnische Betrachtung des Einzugsgebietes der Lausitzer Neiße konnte dieses Testgebiet jedoch nicht genutzt werden, da in der Messphase von Dezember 1999 bis November 2001 keine signifikanten Abflussereignisse aufgezeichnet werden konnten.

Eine genaue Beschreibung des Messprojektes ist in Kapitel 3.2 bzw. im Zwischenbericht dieses Forschungsprojektes dokumentiert.

6.2.1 Testgebiet Berthelsdorfer Wasser

Als Einstieg in die Modellierung des Einzugsgebietes der Lausitzer Neiße wurde stattdessen das Berthelsdorfer Wasser gewählt. Mit seiner Gesamtfläche von 13,9 km² ist es im Gegensatz zum Testgebiet Leuba bereits für die erste Anwendung Geographischer Informationssysteme geeignet. In diesem Gebiet kommen unterschiedliche Bodentypen und Landnutzungen vor, dessen Eigenschaften für die Niederschlags-Abfluss-Simulation aufgearbeitet und kombiniert wurden. Darüber hinaus wurden detaillierte Untersuchungen der momentanen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung durchgeführt, die in die Berechnungen einfließen.

Ein weiteres wichtiges Merkmal des Einzugsgebietes ist, dass die Abflüsse am Gebietsauslass seit 1959 aufgezeichnet werden. Das bedeutet, dass die Ergebnisse der Niederschlags-Abfluss-Simulation an historischen Ergebnissen kalibriert werden können.

In Abbildung 25 ist das Einzugsgebiet des Berthelsdorfer Wassers dargestellt. Südlich des Einzugsgebietes befindet sich die Stadt Herrnhut. Den topographischen Verhältnissen entsprechend liegt die Stadt außerhalb des Testgebietes. Es muss jedoch bei der Modellierung der Abfluss eines Klärteiches berücksichtigt werden, an den ca. 1000 Einwohnergleichwerte angeschlossen sind und der in das Berthelsdorfer Wasser entwässert.

Im Einzugsgebiet zu beiden Seiten entlang des Berthelsdorfer Wassers liegen die Orte Strahwalde und Berthelsdorf sowie der obere Teil von Rennersdorf. In Rennersdorf vereinen sich das Berthelsdorfer Wasser und der Petersbach zur Pließnitz. Geprägt ist das Einzugsgebiet des Berthelsdorfer Wassers durch sein starkes Hanggefälle. Die maximale Höhendifferenz beträgt 186 m. Die meisten Flächen des Einzugsgebietes werden durch Ackerbau genutzt (vgl. Kapitel 3.2).

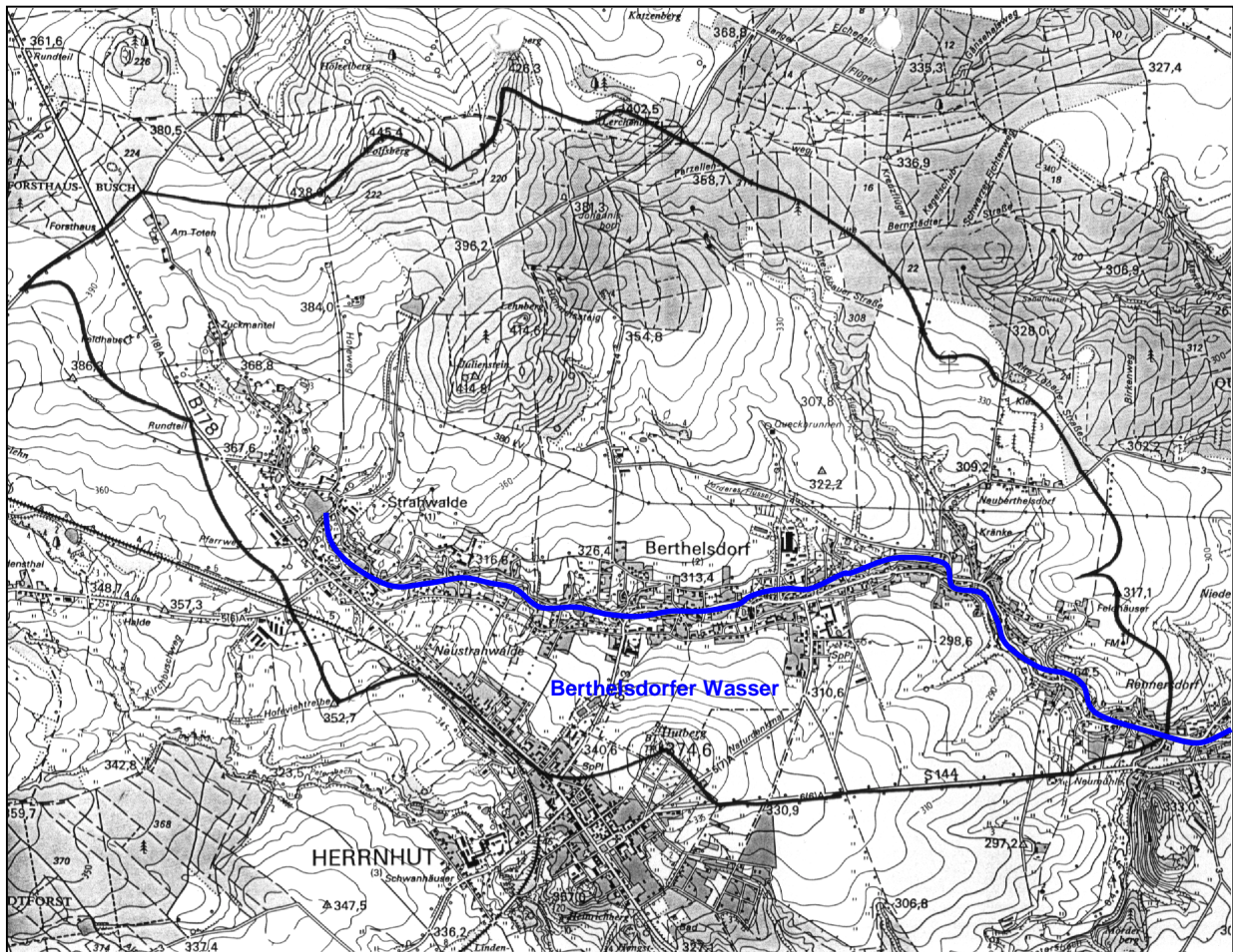


Abbildung 25: Einzugsgebiet des Berthelsdorfer Wassers

Die Landnutzung ist insbesondere durch land- und forstwirtschaftliche Flächen geprägt und damit repräsentativ für die Region. In Abbildung 26 ist die räumliche Verteilung der Landnutzung dargestellt. Außerdem kann der Abbildung entnommen werden, welche Landnutzungsklassen in der N-A-Modellierung definiert wurden. Insgesamt wurden die Daten des digitalen Landschaftsmodells (DLM) zu acht Landnutzungen mit unterschiedlichen Abflusseigenschaften im Modell zusammengefasst. In Abbildung 27 ist grafisch dargestellt, welche prozentualen Anteile auf die Landnutzungsklassen entfallen. Es wird deutlich, wie groß der Anteil der Ackerflächen und damit das Umsetzungspotential konservierender Bodenbearbeitung in diesem Testgebiet ist.

Des Weiteren ist in Abbildung 26 mit den Teileinzugsgebieten ein weiteres wichtiges Element der N-A-Modellierung dargestellt. Insgesamt wurde das Testgebiet Berthelsdorfer Wasser in neun Teileinzugsgebiete untergliedert. Für jedes der Teileinzugsgebiete wurden Abflusskonzentrationsparameter sowie repräsentative Gewässerdaten bestimmt.

Die Bestimmung der Gewässerdaten sowie der Speicherbauwerke erfolgte für dieses Testgebiet im Rahmen einer Gebietserkundung. Dabei wurde die Gewässergeometrie in allen Bereichen des Testgebietes aufgenommen und daraus repräsentative Gerinneprofile für jedes Teileinzugsgebiet abgeleitet. Diese aufwendige Form der Gebietsdatenermittlung wurde auf

das kleinste der Testgebiete beschränkt. In dem größeren Testgebiet und bei der Gesamtgebietsbetrachtung konnte vielfach auf vorhandene Gewässervermessungen zurückgegriffen werden. Insbesondere bei kleineren Gewässern waren aber auch Annahmen zu treffen, wobei sich dabei auf die Erfahrungswerte aus dem Gebiet des Berthelsdorfer Wassers gestützt werden konnte.

Die neun Teileinzugsgebiete setzten sich aus einer Vielzahl von Elementarflächen zusammen, die in Bezug auf die Abflussbildung und Bodenfeuchtesimulation spezifische Eigenschaften aufweisen (vgl. Kapitel 6.1.1). Die Aufbereitung der Flächendaten mit Hilfe des GIS lieferte 340 Elementarflächen für das Einzugsgebiet des Berthelsdorfer Wassers, die eine bestimmte Kombination aus Landnutzungsklasse und Bodentyp besitzen oder in unterschiedlichen Teileinzugsgebieten liegen. Die minimale Größen der Elementarflächen wurde auf 0,2 ha festgelegt, um ihre Anzahl zu begrenzen.

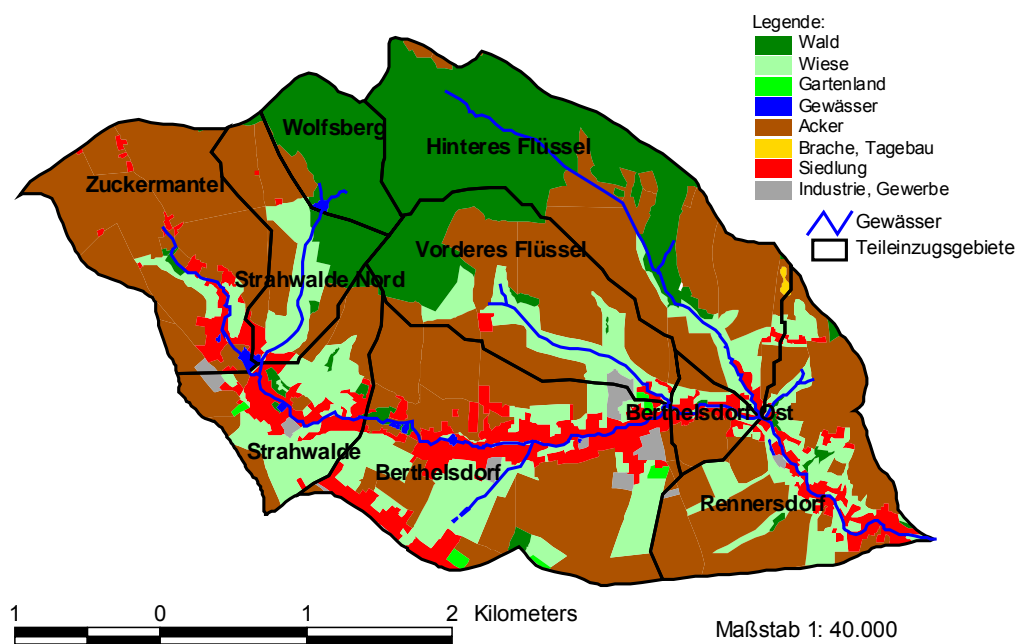


Abbildung 26: Landnutzungsklassen und Teileinzugsgebiete im Testgebiet Berthelsdorfer Wasser

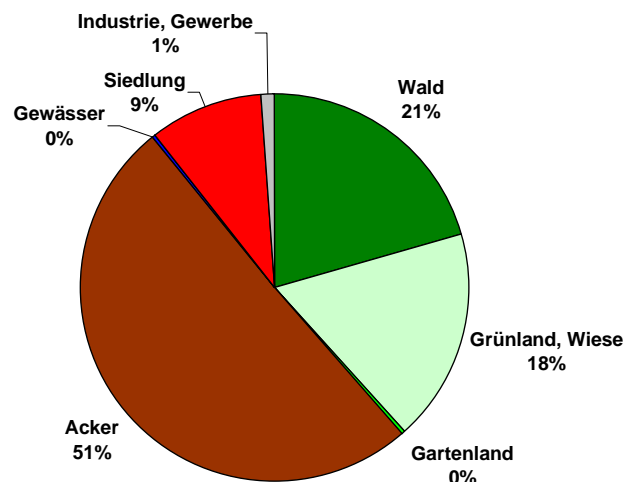


Abbildung 27: Landnutzungsverteilung im Testgebiet Berthelsdorfer Wasser

6.2.2 Testgebiet Pließnitz

Das größere der Testgebiete ist das Einzugsgebiet der Pließnitz, zu dem auch das Einzugsgebiet des Berthelsdorfer Wassers gehört. Es umfasste eine Fläche von 164 km². Im Nordosten grenzt das Einzugsgebiet an den Tagebau Berzdorf, das westliche Ende des Einzugsgebiet wird durch den 583m hohen Berg Kottmar markiert. Die wichtigste Siedlung Bernstadt liegt im Zentrum des Testgebietes.

In Abbildung 28 ist nochmals die großräumige Lage des Einzugsgebietes des Berthelsdorfer Wassers im Oberlauf der Pließnitz zu erkennen. Die Pließnitz ist neben der Mandau der wichtigste Zufluss zur Lausitzer Neiße im deutschen Teil des Einzugsgebietes. Im Unterlauf wurde das Einzugsgebiet sowie der Verlauf der Pließnitz aufgrund des Braunkohletagebaus erheblich verändert.

Zur Kalibrierung der Niederschlags-Abfluss-Simulation des Einzugsgebietes der Pließnitz stehen die Wasserstandsbeobachtungen der Pegelstation Tauchritz zur Verfügung.

In Abbildung 29 und Abbildung 30 sind analog zum Testgebiet Berthelsdorfer Wasser die Landnutzungsverhältnisse dargestellt. Die Verteilung der Landnutzungsklassen zeigt, dass im Vergleich zum Berthelsdorfer Wasser im Bereich der Pließnitz der Siedlungsflächenanteil noch geringer und der Ackerflächenanteil umso größer ist.

Zu den Gewässerdaten ist anzumerken, dass für den Abschnitt der Pließnitz, der in Abbildung 28 eingezeichnet ist, Gerinneprofile vorliegen [Hydroprojekt, 1993].

Insgesamt ist das Testgebiet Pließnitz in 40 Teileinzugsgebiete aufgeteilt worden, die insgesamt 1106 Elementarflächen beinhalten. Die minimale Größe dieser Elementarflächen

liegt bei einem Hektar. Das bedeutet, dass das Modell NASIM das Gebiet der Pließnitz mit einer räumlichen Auflösung von bis zu einem Hektar berechnet.

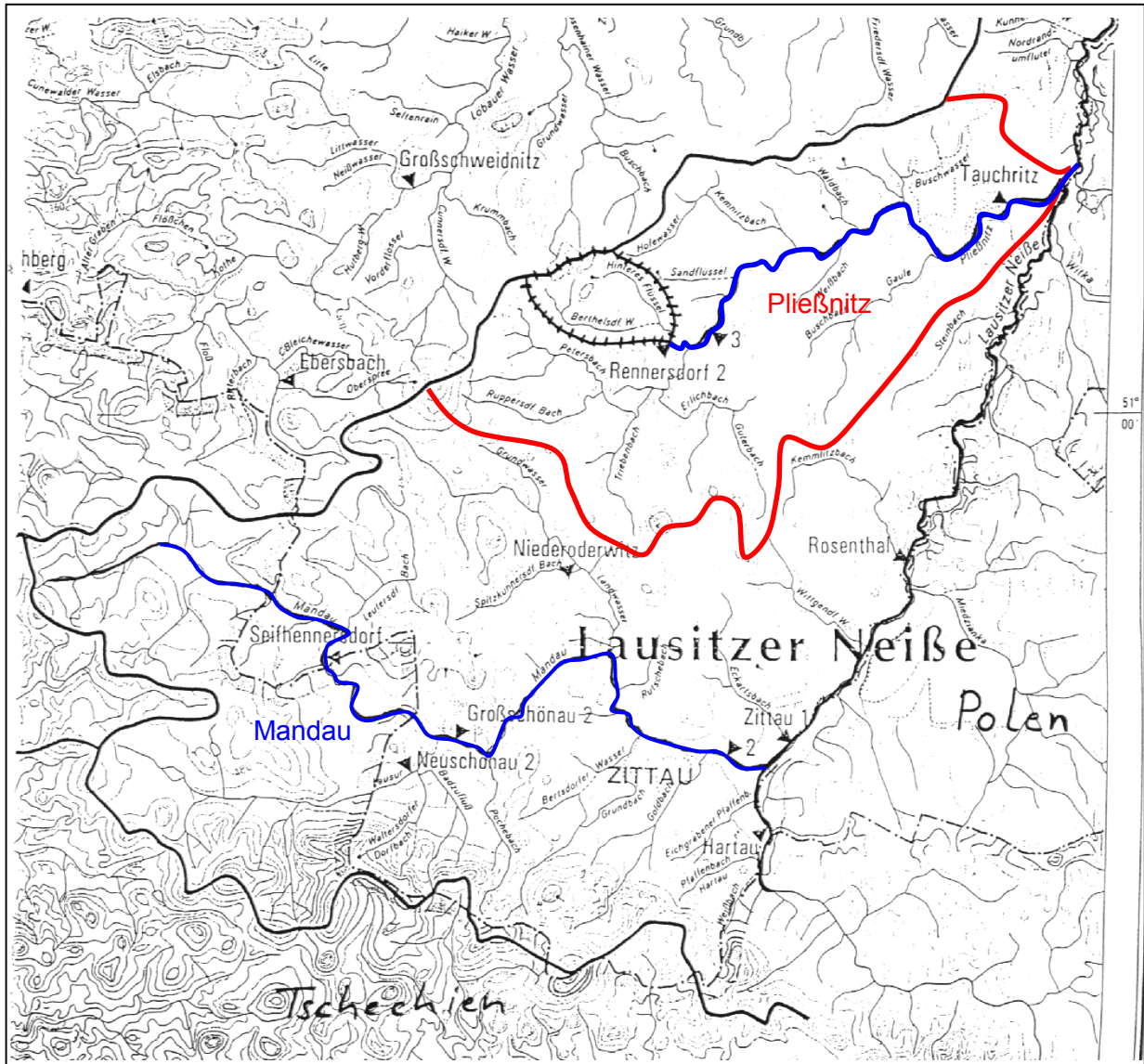


Abbildung 28: Deutscher Teil der Lausitzer Neiße im Bereich Zittau - Görlitz

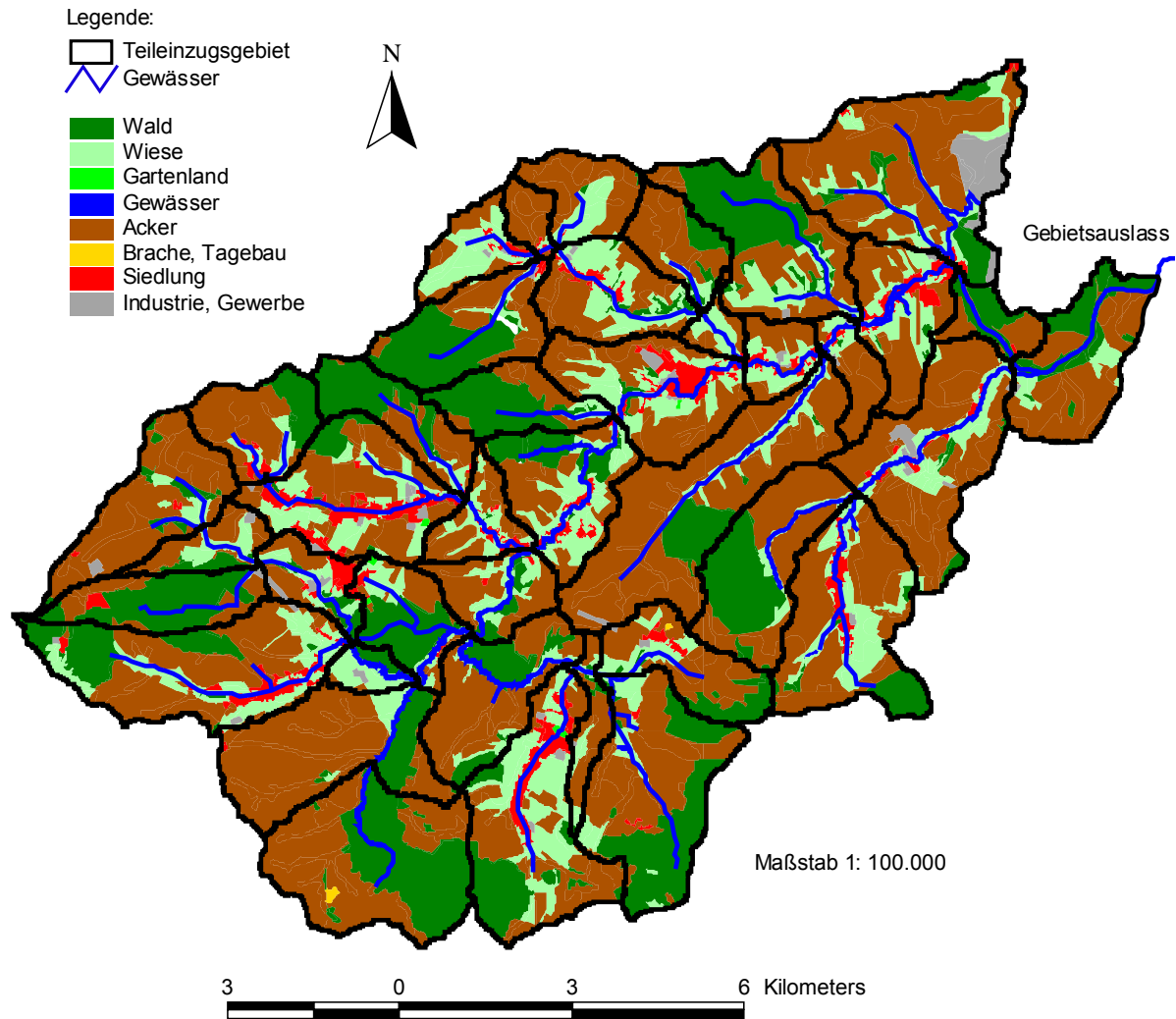


Abbildung 29: Landnutzungsklassen und Teileinzugsgebiete im Testgebiet Plißnitz

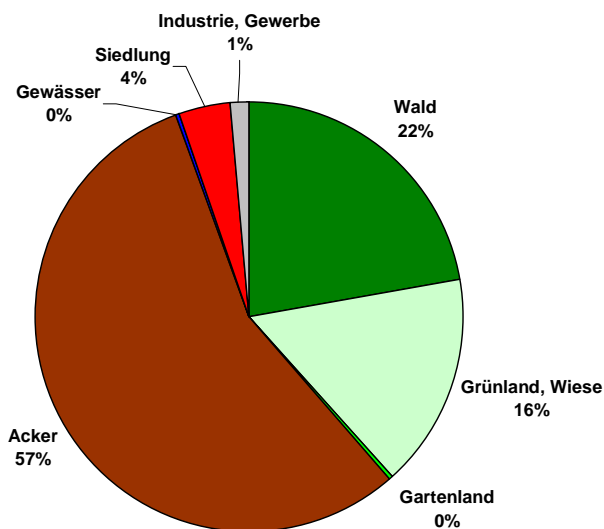


Abbildung 30: Landnutzungsverteilung im Testgebiet Plißnitz

6.2.3 Sächsisches Einzugsgebiet zwischen Zittau und Görlitz

Nachdem der Ist-Zustand und die konservierenden Bodenbearbeitung in diesem Testgebiet zufriedenstellend modelltechnisch berechnet werden konnten, richtete sich nun der Blick auf das „gesamte“ Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße. Bei einem Vergleich der Abbildung 5 und Abbildung 31 fällt unweigerlich auf, dass es sich bei dem hier beschriebenen Einzugsgebiet nicht um das gesamte Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße handelt. Die Gründe hierfür sind bereits in Kapitel 3 angedeutet worden und sollen hier noch einmal kurz erläutert werden:

- Die Betrachtung der polnischen und tschechischen Einzugsgebiete war wie bereits erwähnt aufgrund fehlender Flächendaten nicht möglich.
- Die Einschränkung auf den deutschen Teil des Einzugsgebietes zwischen Zittau und Görlitz wurde vorgenommen, da die Bedeutung des Einzugsgebietes nördlich von Görlitz in Bezug auf die Hochwasserentstehung als gering einzuschätzen ist. Ein Vergleich zwischen den Abflüssen der Pegel Görlitz und Guben 2 verdeutlicht diese Einschätzung: Während des Extremhochwassers im Juli 1981 wurde am Pegel Görlitz ein maximaler Tagesabfluss von 488 m³/s gemessen. Der maximale gemessene Tageswert am Pegel Guben 2 im selben Zeitraum war lediglich 10% höher und lag bei 539 m³/s. Die geringe Hochwasserrelevanz des nördlichen Einzugsgebietes wird deutlich, wenn man bedenkt, dass der Pegel Guben 2 ein 150% größeres Einzugsgebiet erfasst als der Pegel Görlitz. Die Erklärung für die Abflussbildung ist in der Landnutzung und Bodeneigenschaften des nördlichen Einzugsgebietes zu suchen. Sandige Bodenformationen und vorwiegend forstwirtschaftliche Nutzung sind ideale Voraussetzungen zur Vermeidung von Oberflächenabfluss (vgl. Kapitel 3.2).

In Abbildung 31 ist das für die Gesamtbetrachtung ausgewählte sächsische Einzugsgebiet zwischen Zittau und Görlitz dargestellt. Um die Lage des Gebietes im großräumigen Maßstab besser einordnen zu können, ist dieser Teil des Einzugsgebietes in Abbildung 5 weiß hinterlegt. Es umfasst eine Fläche von 451 km² und wurde in 110 Teileinzugsgebiete untergliedert, die sich wiederum aus insgesamt 3449 Elementarflächen zusammensetzen. In dem „Gesamtgebiet“ sind selbstverständlich die Testgebiete Berthelsdorfer Wasser und Pließnitz enthalten. Zu besserer Orientierung wurden die Grenzen des Pließnitz Einzugsgebietes in Abbildung 31 weiß markiert. Die räumliche Auflösung des N-A-Modells für das Gesamtgebiet hat sich gegenüber dem Einzugsgebiet der Pließnitz nicht verändert, so dass eine Übertragbarkeit der kalibrierten Modellparameter problemlos möglich war.

Die Gewässerdaten der Lausitzer Neiße sowie Profile der wichtigsten Nebenflüsse wurden von Staatlichen Umweltfachamt Bautzen zur Verfügung gestellt.

Die in Abbildung 32 dargestellte Landnutzungsverteilung zeigt, dass auch bezogen auf das Gesamtgebiet ein deutliches Umsetzungspotential für Maßnahmen im Bereich der Landwirtschaft besteht. Zwar ist durch die Mitbetrachtung der Städte Görlitz und Zittau der Anteil der Siedlung- und Gewerbeflächen deutlich größer als im Pließnitzgebiet, trotzdem sind mit 46% Flächenanteil die Ackerflächen die dominierende Landnutzung im Einzugsgebiet.

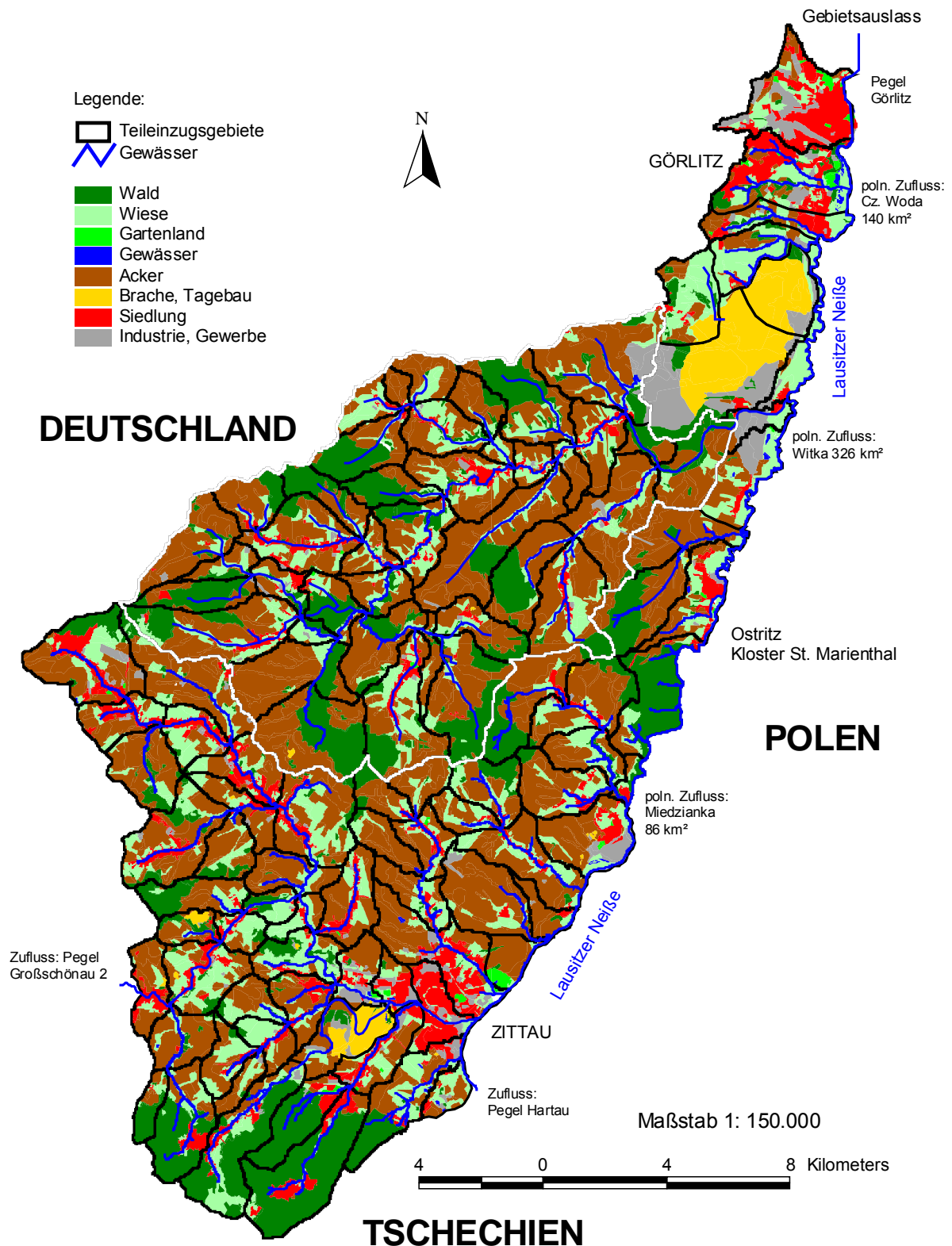


Abbildung 31: Landnutzungsklassen und Teileinzugsgebiete im sächsischen Einzugsgebiet zwischen Zittau und Görlitz

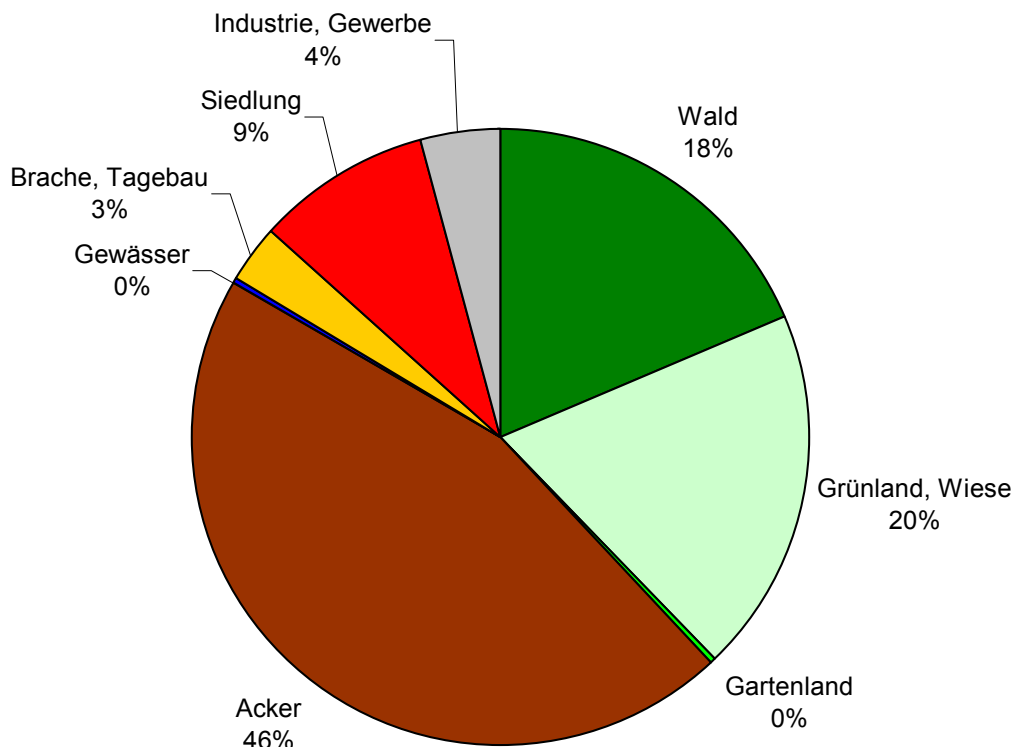


Abbildung 32: Landnutzungsverteilung im sächsischen Einzugsgebietes zwischen Zittau und Görlitz

Bedingt durch die Einschränkung auf den sächsischen Teil des Einzugsgebietes müssen die Zuflüsse der oberhalb liegenden tschechischen und polnischen Einzugsgebietsteile in Form von Zuflussganglinien in das Modell einfließen.

Fünf wichtige Zuflüsse müssen bei der Berechnung des sächsischen Einzugsgebietes berücksichtigt werden:

Zufluss	Lage	Größe des Einzugsgebietes
Pegel Großschönau 2	tschechisch-deutscher Oberlauf der Mandau	162 km ²
Pegel Hartau	Tschechischer Oberlauf der Neiße	376 km ²
Miedzianka	Polnischer Zufluss zur Neiße	86 km ²
Reczyn/Witka	Polnischer Zufluss zur Neiße	328 km ²
Cz. Woda	Polnischer Zufluss zur Neiße	140 km ²

Tabelle 14: Zuflüsse zum sächsischen Einzugsgebiet

Das Ziel, die Zuflüsse ausgewählter Hochwasser aus Aufzeichnungen von Pegeln zu gewinnen, wurde nur teilweise erreicht. Während die Zuflüsse aus Tschechien mit Hilfe der

deutschen Pegel Hartau und Großschönau 2 als Tageswerte an das Modell übergeben werden konnten, standen für die Zuflüsse aus Polen nur Daten für die hydrologischen Jahre 1992, 1993, 1995, 1997 und 1999 und nur für den Zufluss Reczyn/Witka zur Verfügung.

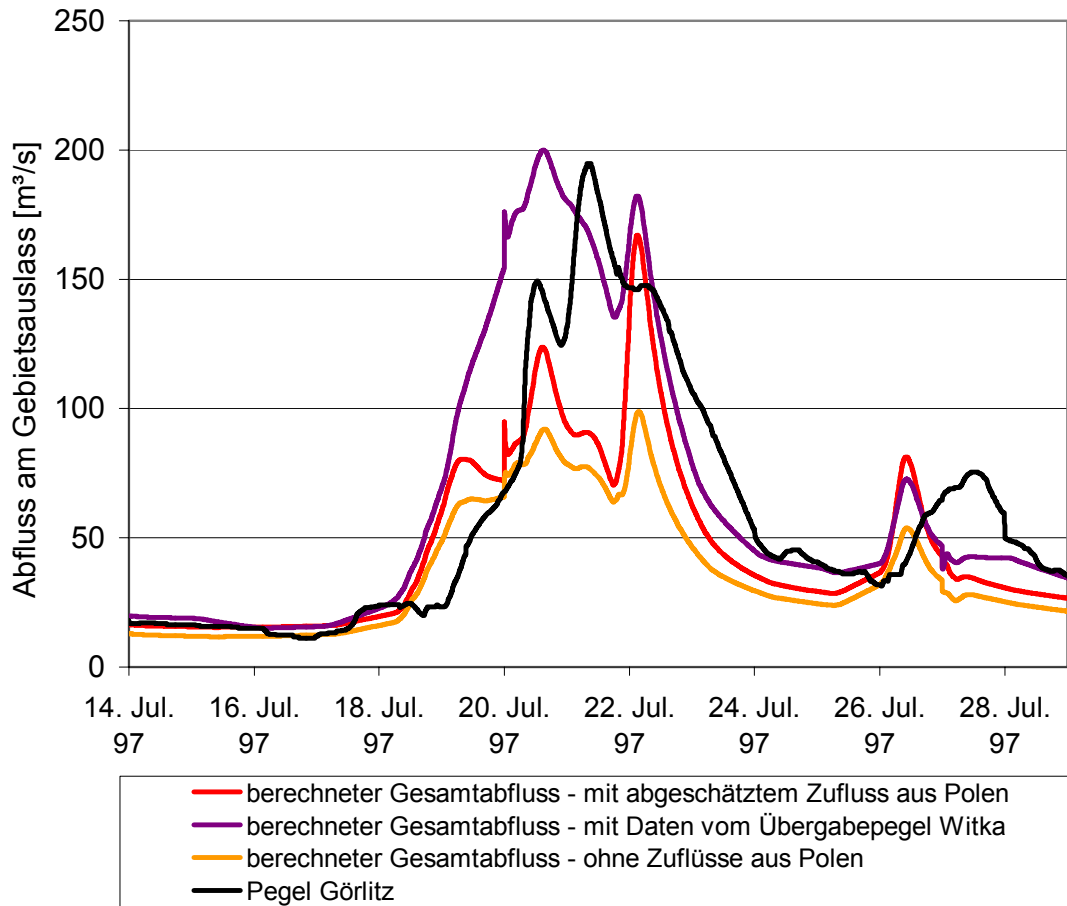


Abbildung 33: Abfluss am Pegel Görlitz bei unterschiedlicher Berücksichtigung der Zuflüsse aus Polen

Behelfsweise wurden die übrigen Zuflüsse aus Polen über ihre Einzugsgebietgrößen abgeschätzt. Für die Hochwasserperiode im Juli 1981 musste diese Vorgehensweise für alle polnischen Zuflüsse gewählt werden. In Abbildung 33 ist dargestellt, wie groß der Einfluss der polnischen Zuflüsse zur Lausitzer Neiße zwischen Zittau und Görlitz ist. Ohne die Zuflüsse aus Polen ergeben sich für den dargestellten Zeitraum nur rund halb so große Abflussspitzen, wie sie am Pegel Görlitz gemessen wurden. Auch bei der Berechnung mit abgeschätzten Zuflüssen, die auf den Abflüssen aus dem Pließnitzgebiet basieren, sind große Abweichungen von den Pegelmessungen zu erkennen. Die beste Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Abflüssen ist unter Berücksichtigung der aufgezeichneten Abflüsse am Pegel Reczyn/Witka zu erzielen. Abgesehen von einer leichten zeitlichen Verschiebung stimmen die Abflussspitzen relativ gut überein. Ein möglicher Grund für die Verschiebung könnte die zeitliche Auflösung der Zuflüsse der Pegel Hartau, Großschönau 2 und Reczyn/Witka sein, da es sich um Tagesmittelwerte handelt (vgl. Abbildung 24).

Für die Interpretation der Berechnungsergebnisse, insbesondere für das Hochwasserereignis 1981 bedeutet dies, dass besonders die Abflüsse unterhalb des Zuflusses der Witka von den realen Abflüssen abweichen können. Die Abflüsse der Witka sind schwer abzuschätzen, da es sich um ein großes Einzugsgebiet handelt und der Zufluss von der Speicherbewirtschaftung des Stausees Witka abhängt, der kurz vor der Mündung in die Lausitzer Neiße liegt.

Es muss aber noch einmal betont werden, dass diese Problematik keinen Einfluss auf die Kalibrierung der Modellparameter hatte, da die Testgebiete keinen externen Zufluss besitzen.

6.3 Berechnung der Abflussgeschehens im Ist-Zustand

Bevor die Auswirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung auf das Hochwassergeschehen bei vollständig oder teilweise ausgeschöpftem Umsetzungspotential berechnet werden können, musste das NASIM-Ersatzsystem für die Lausitzer Neiße im Ist-Zustand aufgestellt werden. Die Simulationsergebnisse der Szenarien unter Berücksichtigung der konservierenden Bodenbearbeitung erhalten erst dann ihre ganze Aussagekraft, wenn sie dem Abflussverhalten des Ist-Zustandes gegenübergestellt werden.

Entsprechend der eingangs beschriebenen Methodik, sollen zunächst die Kalibrierungsergebnisse der Testgebiete vorgestellt und auf die gewählten Parameter bzw. notwendigen Einschränkungen eingegangen werden.

Für die Kalibrierung wurde eine Hochwasserperiode im Juli 1997 (15.6. – 20.8.1997) ausgewählt, die am 21. und 22. Juli ihre maximalen Wasserstände erreichte. Die Wahl fiel auf dieses ca. 2-3-jährige Hochwasserereignis, da es genauso wie das „Jahrhunderthochwasser“ 1981 im Sommer auftrat. Ein weiterer Beweggrund war die gute Datengrundlage für dieses Ereignis. Da es in der jüngeren Vergangenheit (nach der deutschen Wiedervereinigung) stattfand, war die Verfügbarkeit von Niederschlagsdaten und Pegelmessungen relativ gut.

Neben den hydrometrischen Daten und der Aufbereitung der Flächendaten mit Hilfe des GIS mussten im Rahmen der Systemerstellung und Kalibrierung geeignete Boden- und Landnutzungsparameter für den Ist-Zustand festgelegt werden. Auf die Bestimmung der Bodenkennwerte wurde in Kapitel 3 und 5 ausführlich eingegangen (vgl. Tabelle 2). Für eine realistische Abbildung des Infiltrationsverhaltens der Ackerflächen im NASIM-Modell war neben diesen Bodenparametern die Erstellung benutzerdefinierter Bodenfunktionen von großer Bedeutung.

Mitverantwortlich für den Oberflächenabfluss von Ackerflächen ist die Verschlammung während intensiver und langandauernder Niederschlagsperioden. Die Verschlammungsneigung hängt zum einen vom Bodentyp aber insbesondere auch von der Bodenbewirtschaftung ab. Mit Blick auf die modelltechnische Abbildung der Unterschiede zwischen konservierender- und konventioneller Bodenbearbeitung, soll mit Hilfe der Bodenfunktionen das unterschiedliche Infiltrationsverhalten berechnet werden.

Da die benutzerdefinierte Bodenfunktion eine Funktion in Abhängigkeit der Bodenfeuchte sind, die Verschlämmung dagegen auch vom Regengeschehen und der Bodenbedeckung vor dem Hochwasserereignis abhängt, ist an dieser Stelle der Modellierung ein gewisse Ungenauigkeit zu erwarten.

Die Kalibrierung ergab, dass das Abflussverhalten von Ackerflächen bei konventioneller Bodenbearbeitung am besten mit einer nicht linearen Bodenfunktion nachgebildet werden kann, die bei maximaler Bodenfeuchte (Bodenfeuchte (BF) = Gesamtporenvolumen) den Wert Null annimmt und bei minimaler BF (BF = permanenter Welkepunkt) die bodenspezifische „maximale Infiltrationsrate“.

Für die Simulation der Umsetzungsszenarien mit vollständig oder teilweise konservierender Bodenbearbeitung wurde die Infiltrationsrate bei maximaler Bodenfeuchte auf konservierend bearbeiteten Flächen angehoben. Diese Anpassung entspricht den Beobachtungen der sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, die auch nach intensiven und langandauernden Berechnungen von Testflächen eine Infiltrationsfähigkeit konservierend bearbeiteter Böden festgestellt hat (vgl. Kapitel 5).

Neben der Betrachtung der Bodenparameter wurden folgende Parameter für die neun Landnutzungsklassen definiert, die sowohl im Ist-Zustand als auch in den Umsetzungsszenarien zur Anwendung kamen (siehe Tabelle 15):

Landnutzungs-klasse	Mittlerer Versiegelungs-grad [%]	Interzeptionsspeicher [mm]	Mittlere Wurzeltiefe [m]
Gartenland	5	2,0	0,1
Gewässer	99	0,5	0,5
Industrie, Gewerbe	30	1,5	0,1
Siedlung	30	1,5	0,1
Wald	2	5,0	1,0
Wiese, Grünland	3	3,0	0,2
Brache, Tagebau	7	1,5	0,2
Ackerflächen	3	2,1	1,1

Tabelle 15: Modellparameter für die Landnutzungsklassen

Zu Tabelle 15 ist anzumerken, dass sich der Interzeptionsspeicher und die Durchwurzelungstiefe in Siedlungsflächen und Industriegebieten auf die verbleibenden natürlichen Flächen beziehen. Hinter dem extrem hohen Versiegelungsgrad der Gewässer verbirgt sich die Annahme, dass die Wasserflächen im Einzugsgebiet mittelbaren Kontakt zum Gewässernetz haben und somit direkt und vollständig abflussrelevant sind. Eine andere detailliertere Möglichkeit, Gewässer im Modell abzubilden ist, sie als eigene Speicherelemente

ins System aufzunehmen. Im Falle des Testgebietes Berthelsdorfer Wasser ist von dieser Alternative Gebrauch gemacht worden. Für die großräumigen Betrachtungen war dies nicht möglich, weil für die Vielzahl kleiner, nur bedingt hochwasserrelevanter Teiche und Becken keine Angaben zu Speichervolumen oder Drosselbauwerk vorlagen.

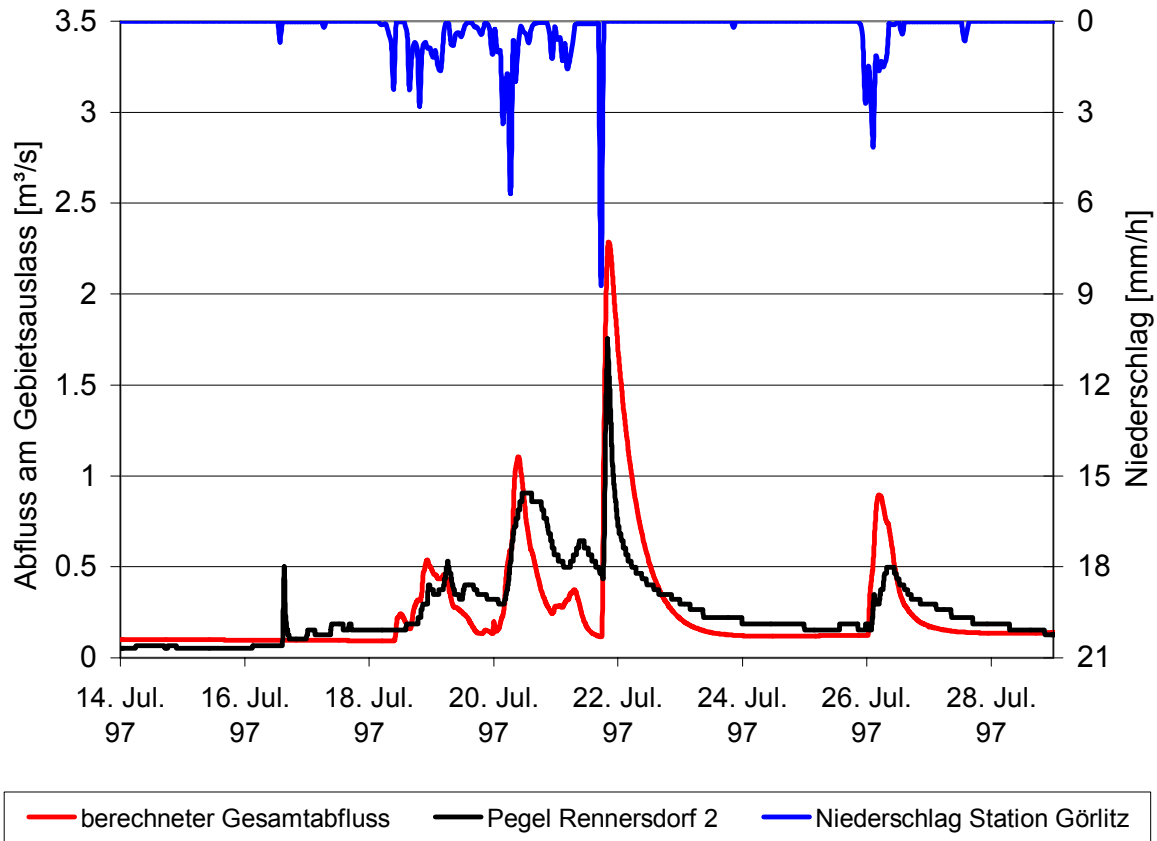


Abbildung 34: Kalibrierungsergebnis für das Testgebiet des Berthelsdorfer Wassers

Das Ergebnis der getroffenen Annahmen und die Wahl der Modellparameter für das Testgebiet Berthelsdorfer Wasser im Ist-Zustand ist in Abbildung 34 dargestellt.

Mit Abbildung 35 wird der Frage nachgegangen, von welchen Flächen der Abfluss am Gebietsauslass des Berthelsdorfer Wassers stammt. Die grüne Ganglinie zeigt, dass der maximale Abfluss am 22. Juli 1997 größtenteils durch den Oberflächenabfluss natürlicher Flächen verursacht wurde.

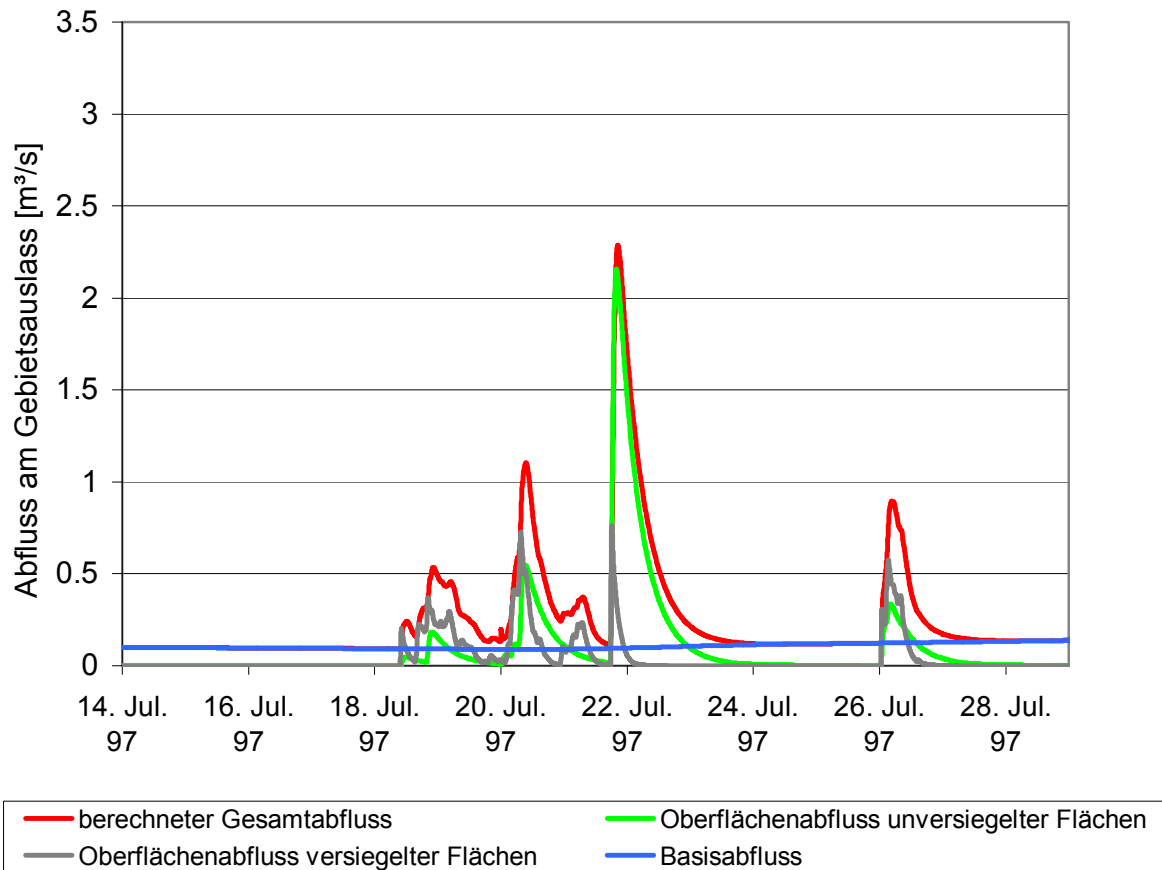


Abbildung 35: Aufteilung des Gebietsabflusses des Berthelsdorfer Wassers

In Abbildung 36 ist das Kalibrierungsereignis für das Testgebiet Pließnitz dargestellt. Selbstverständlich wurde für dieses Gebiet der gleiche Modellparametersatz verwendet wie im Testgebiet Berthelsdorfer Wasser. Vergleicht man Abbildung 34 und Abbildung 36 so fällt auf, dass die simulierten maximalen Abflussspitzen in beiden Fällen etwas größer sind als die gemessenen Abflüsse. Dies wurde unter Berücksichtigung der Gesamteinzugsgebietsberechnung nicht korrigiert.

Der Vergleich zwischen gemessenem und simuliertem Abfluss in Abbildung 37 zeigt, dass bezogen auf das Gesamtgebiet die gewählten Modellparameter einen realistischen Maximalabfluss erzeugen.

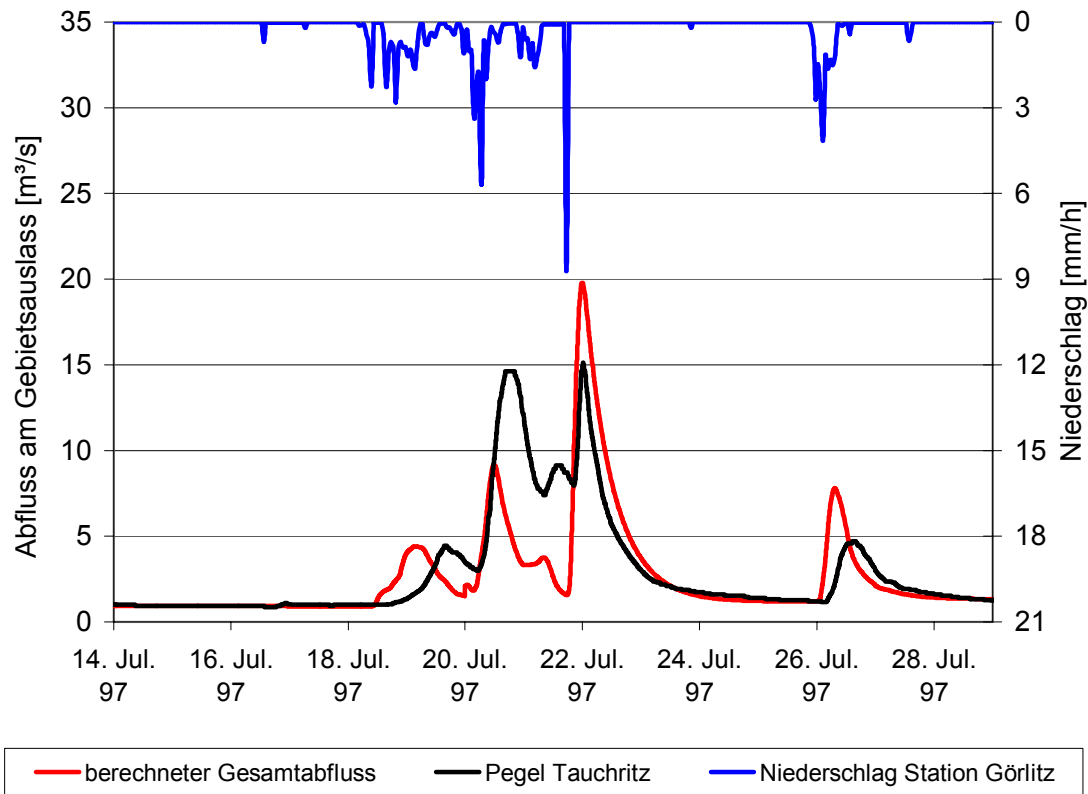


Abbildung 36: Kalibrierungsergebnis für das Testgebiet Pließnitz

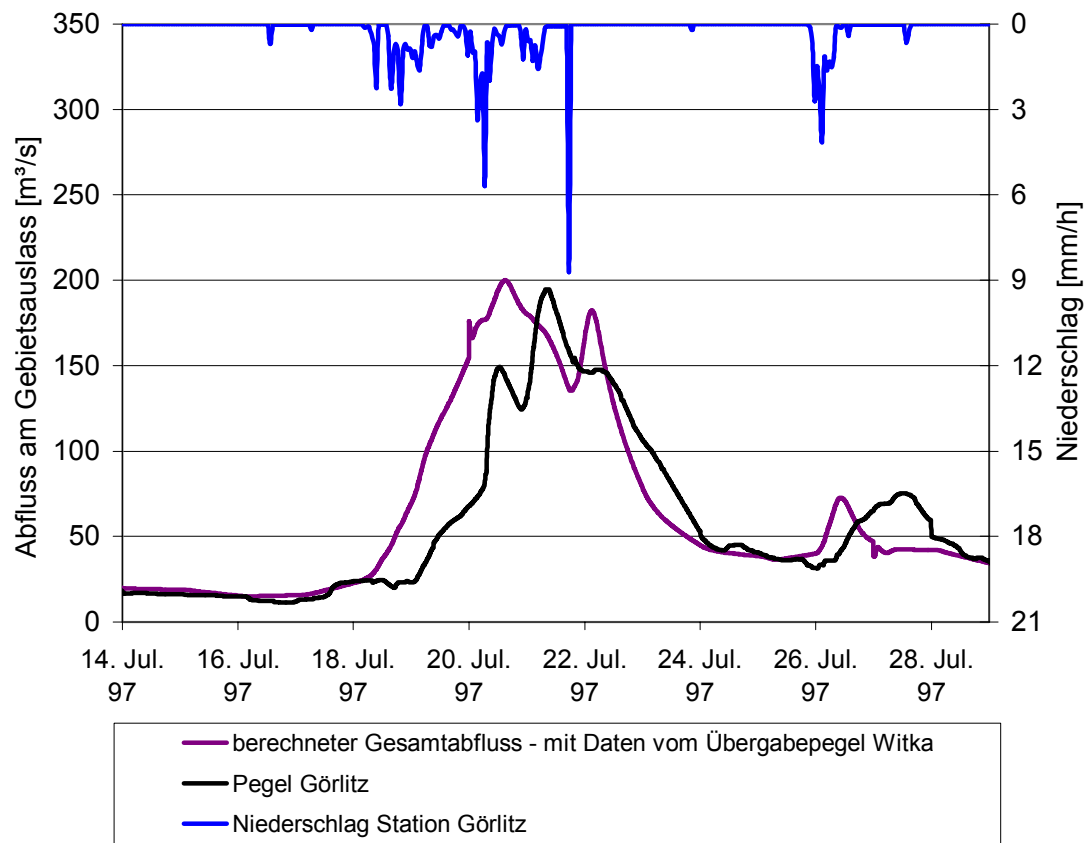


Abbildung 37: Berechnungsergebnis für des Gesamteinzugsgebiet zwischen Zittau und Görlitz – Hochwasserereignis Juli 1997

Nachdem die Berechnung des Hochwasserereignisses Juli 1997 abgeschlossen war, wurde nun ohne weitere Veränderung der Eingabedaten die Hochwasserperiode Juli 1981 betrachtet. Das Hochwasser, das am 20. bzw. 21.07.1981 sein Abflussmaximum an den Pegeln der Region hatte, ist eines der größten Hochwasser des vergangenen Jahrhunderts. In allen Nebenflüssen und natürlich auch entlang der Lausitzer Neiße sind die Wasserstände dieses Hochwassers an den gewässernahen Bauwerken markiert, so auch am Kloster St. Marienthal.

Abbildung 38 zeigt die Berechnungsergebnisse für das Testgebiet Pließnitz im Vergleich zu Pegelmessungen des Pegels Tauchritz. Ein direkter Vergleich der beiden Ganglinien ist nicht ohne weiteres möglich, da es sich bei den Pegeldaten um Tagesmittelwerte handelt.

Es ist aber zu erkennen, dass das Modell mit den gewählten Modellparametern die extremen Abflüsse des Julis 1981 nicht in seiner vollen Größe abbilden kann. Eine mögliche Begründung hierfür könnte die Beschränkung auf die Niederschlagsdaten der Wetterstation Görlitz sein. Es ist wahrscheinlich, dass es in Bereichen des Einzugsgebietes noch stärkere Niederschläge in ungünstiger Verteilung in diesem Zeitraum aufgetreten sind. Ein Beweis dafür kann nicht erbracht werden, da die Niederschlagsstation Görlitz die einzig verfügbare Datenquelle für zeitlich hoch aufgelöste Messwerte ist.

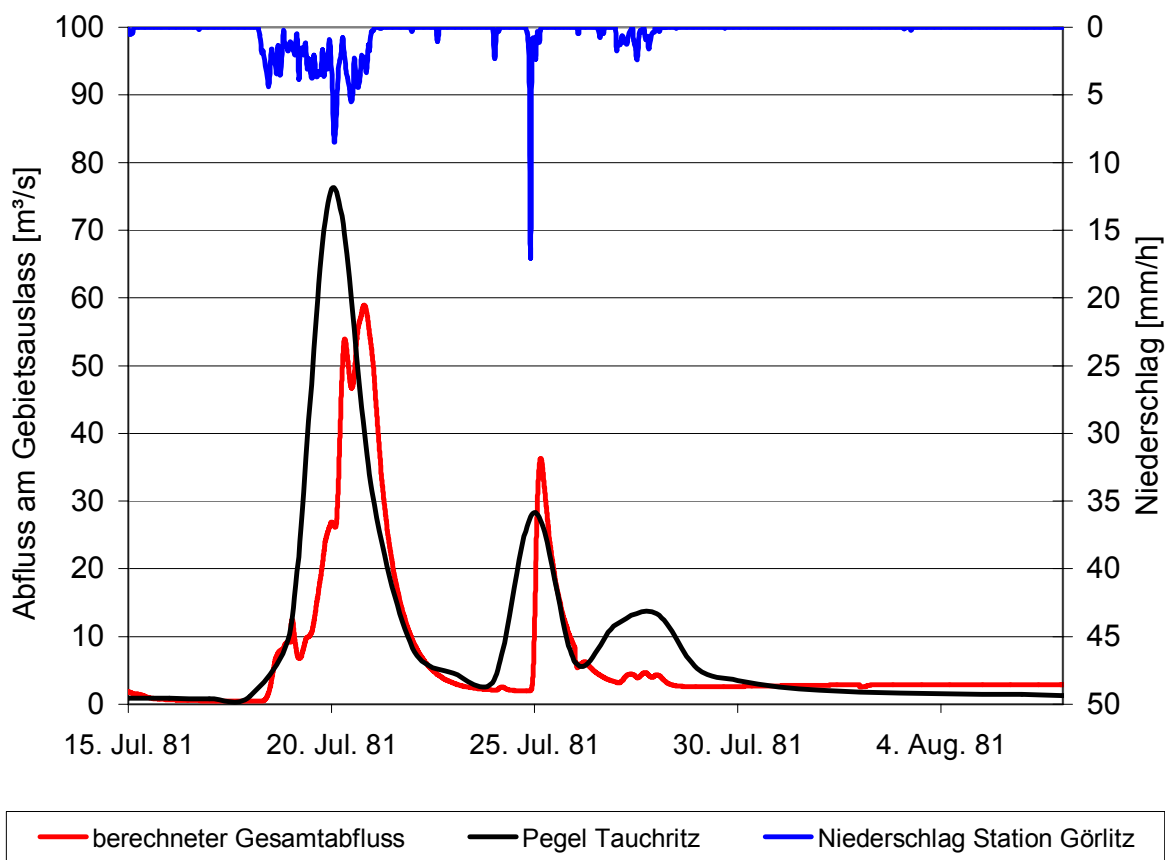


Abbildung 38: Berechnungsergebnis für die Pließnitz – Hochwasserereignis Juli 1981

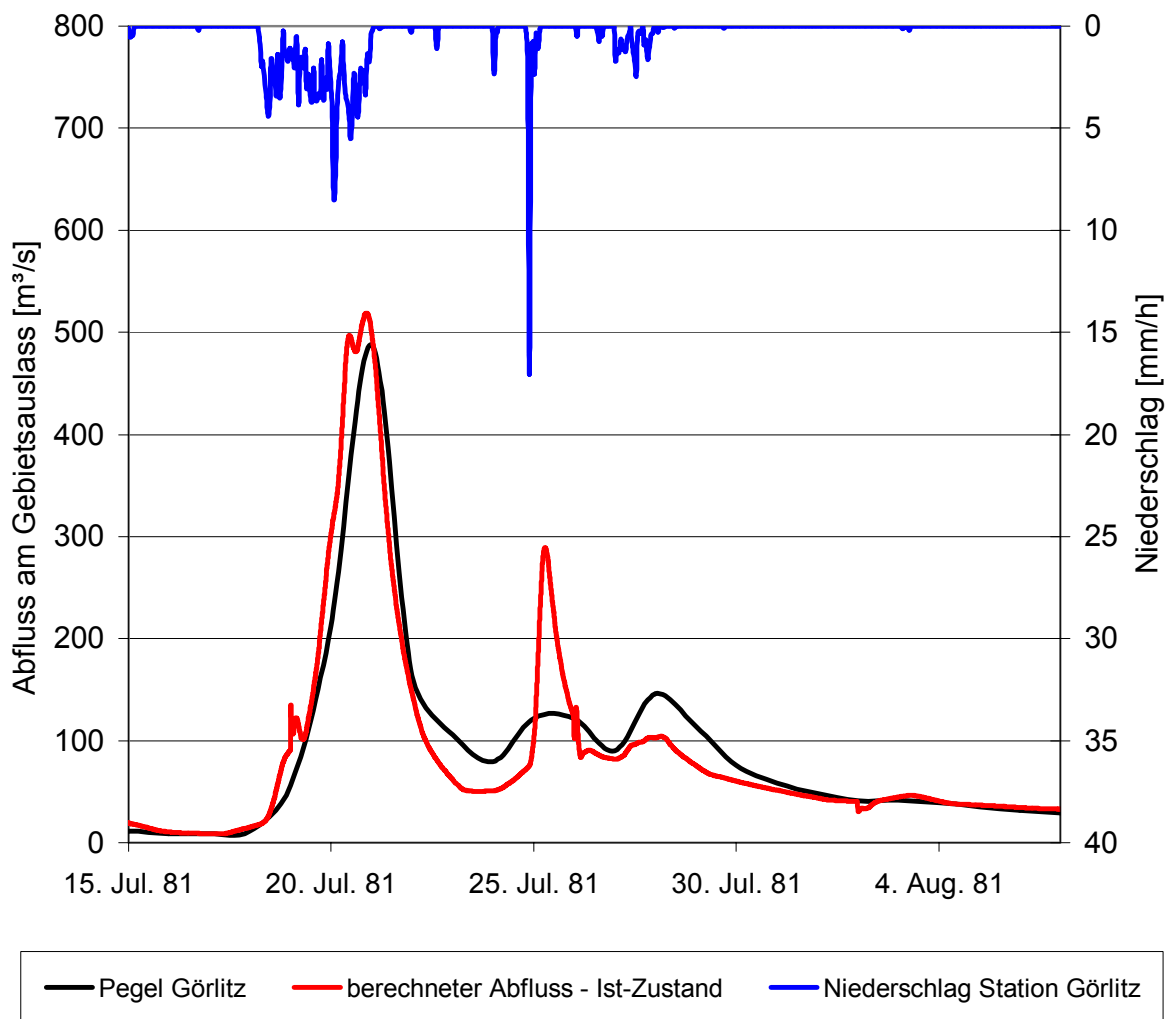


Abbildung 39: Berechnungsergebnis für das Gesamtgebiet – Hochwasserereignis Juli 1981

Die gute Übereinstimmung zwischen der gemessenen und berechneten Abflüssen in Abbildung 39 darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass der von NASIM berechnete Abfluss des Gesamteinzugsgebietes geringer ist als die real abgeflossene Hochwasserwelle. Da es sich bei den dargestellten Pegelraten um Tageswerte handelt, ist der maximale Abflusspeak, der im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch (1995) mit 743 m³/s angegeben wird, in dieser Pegelganglinie nicht erfasst.

6.4 Szenarien des vorbeugenden Hochwasserschutzes

6.4.1 Entwicklung von Umsetzungsszenarien

Nachdem in Kapitel 2 und insbesondere in Kapitel 5 auf die Hochwasserreduzierungs-kapazität konservierender Bodenbearbeitung eingegangen wurde, bleibt zu beantworten, wie groß das Umsetzungspotenzial für die konservierende Bodenbearbeitung im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße ist. Die in den Testgebieten (vgl. Kapitel 6.2) gewonnenen Erkenntnisse über die Quantifizierung der Umsetzungspotentiale auf den verschiedenen genutzten Ackerflächen sollen zu diesem Zweck mit Hilfe des GIS auf das Gesamtgebiet übertragen werden. Dabei

sind neben den landwirtschaftlichen und bodenkundlichen Parametern weitere Einflussfaktoren zu beachten, die die Umsetzung konservierender Bodenbearbeitung begünstigen oder erschweren.

In Kapitel 4 ist am Beispiel der Stadt Zittau beispielhaft dargestellt, wie im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen das Umsetzungspotential ermittelt sowie die naturräumlichen Eigenschaften des gesamten Stadtgebietes interpretiert wurden.

Für die landwirtschaftlichen Flächen kann diese Methodik zur Bestimmung des Umsetzungspotentials nur ansatzweise durchgeführt werden. Der Grund hierfür ist die nicht ausreichende Datengrundlage. So fehlen flächendeckende Informationen zu meliorierten Flächen, Altlasten, Anbaufrüchten und Fruchtfolgen (vgl. Tabelle 13). Zwar kann der Einfluss von Altlasten in ländlichen Gebieten als gering eingeschätzt werden jedoch sind die Dränagen, die Art der Anbaufrüchte und Fruchtfolgen wichtige Einflussfaktoren, ohne die eine Erstellung von detaillierten einzugsgebietsweiten Karten in Bezug auf Umsetzungspotential und Hochwasserrelevanz nicht möglich ist.

Um trotzdem qualifizierte Szenarien entwickeln zu können, wurden bestimmte Einflussfaktoren auf ihre Bedeutung im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße untersucht:

In Kapitel 2.3 wurde bereits der Einfluss des bodenbürtigen Direktabflusses diskutiert, der die hochwasservermindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung unter ungünstigen Umständen einschränkt. Nahrungsweise wurde dieser Einfluss für das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße durch eine GIS-Analyse eingeschätzt, indem davon ausgegangen wurde, dass insbesondere gewässernahe Ackerflächen einen mittelbaren hydraulischen Kontakt zum Gewässer haben.

Im Rahmen einer Flächenanalyse mit Hilfe des GIS wurden die Ackerflächen identifiziert, die 100 Meter oder näher an einem Fließgewässer des Einzugsgebietes liegen. Es wurde festgestellt, dass sich 5,5% der Ackerflächen des Einzugsgebietes in dieser gedachten Zone um die Gewässer befinden. Das bedeutet, dass diese 5,5% der Ackerfläche (oder 1.100 ha) im Einzugsgebiet keine hochwasserverringende Wirkung haben würden, auch wenn auf ihnen konservierende Bodenbearbeitung eingeführt werden würde. Allerdings konnte im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht nachgewiesen werden, dass der „direkte“ Kontakt dieser Flächen mit dem Gewässer im Hochwasserfall tatsächlich auftritt. Vielmehr ist zu befürchten, dass es auf intensiv gedränten Flächen mit intakter Dränage zu einem Kurzschluss zwischen infiltriertem Wasser und Gewässer kommt [v. d. PLOEG, SIEKER, 2000].

Ein weiterer Ansatz zur Entwicklung qualifizierter Umsetzungsszenarien wird in Kapitel 7.2 näher erläutert. Hierbei geht es jedoch nicht um die Umsetzungspotentiale eines Teileinzugsgebietes aus der Sicht der Landnutzung, sondern vielmehr um den Anteil dieses Teileinzugsgebietes am Hochwasserabfluss im Ist-Zustand. Hiervon kann abgeleitet werden,

welche Priorität die Umsetzung konservierender Bodenbearbeitung in diesem Teileinzugsgebiet hat.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass eine Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung letztendlich eine Entscheidung jedes einzelnen Landwirtes ist, die in erster Linie von wirtschaftlichen, administrativen und landwirtschaftsbetrieblichen Gesichtspunkten abhängen. Eine Quantifizierung dieser Einflussfaktoren, bezogen auf die Lausitzer Neiße, ist anhand von Flächendaten nicht möglich. Somit bleibt eine stufenweise Einführung der konservierenden Bodenbearbeitung auf zufällig ausgewählten Ackerflächen der momentan praktikabelste Ansatz. Die dargestellten landwirtschaftlichen Einflussfaktoren dienen in diesem Zusammenhang als Kriterien für die Realisierungschancen der gewählten Umsetzungsszenarien.

Für künftige Planungen im Sinne des Hochwasserschutzes und im Sinne einer möglichen Förderung des Landwirtes für einen vorbeugenden Hochwasserschutz, sind die erwähnten Betrachtungen aus Kapitel 7 geeignete Instrumentarien, für die allerdings eine bessere Datenlage wünschenswert wäre.

6.4.2 Ergebnisse der Niederschlags-Abfluss-Berechnungen unter Berücksichtigung der konservierenden Bodenbearbeitung

Um die Auswirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung auf die betrachteten Hochwasserereignisse berechnen zu können, wurden im NASIM-Modell gegenüber dem Ist-Zustand lediglich die Abflussbildungsparameter der betroffenen Ackerflächen verändert. Genauer gesagt wurde das Infiltrationsverhalten der Böden modifiziert. Wie bereits in Kapitel 6.3 erläutert, dienten hierzu die Bodenfunktionen des NASIM-Modells. Die Modifikationen der Bodenfunktionen basieren auf den Versuchsergebnissen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft.

In Abbildung 40 sind die Auswirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung auf des Testgebiet Pließnitz als Ganglinien dargestellt. Die blaue und grüne Kurve zeigen, mit welchem Abflussverhalten zu rechnen wäre, wenn sämtliche Ackerflächen des Pließnitz Einzugsgebietes konservierend bearbeitet würden. Für dieses Szenario gibt es keine Pegelmessungen, deshalb wurden zwei Modellparametersätze entwickelt, die zum einen als untere Konfidenzgrenze der Versuchsergebnisse und zum anderen als obere Konfidenzgrenze betrachtet werden kann. Da die Wirksamkeit der konservierenden Bodenbearbeitung in Bezug auf das Infiltrationsvermögen auch von der Zeit ihrer kontinuierlichen Anwendung und der Sorgfalt des Landwirtes abhängt, wurden die Szenarien als „optimierte“ und „nicht optimierte“ konservierende Bodenbearbeitung bezeichnet.

Es ist gut zu sehen, dass sowohl der maximale Abfluss- als auch die kleineren Abflusspeaks gegenüber dem Ist-Zustand deutlich reduziert wurden, wobei die unterschiedlichen Modellparametersätze für die optimierte und nicht optimierte konservierende Bodenbearbeitung nur bei größeren Abflüssen zum Tragen kommen. In der abflussärmeren

Zeitabschnitten sind die grüne und die blaue Abflusskurve deckungsgleich. Erwartungsgemäß ist festzustellen, dass der Basisabfluss im Vergleich zum Ist-Zustand leicht gestiegen ist, da mehr Niederschlagswasser in tiefere Bodenschichten gelangt und von dort dem Gewässer stark verzögert zufließt.

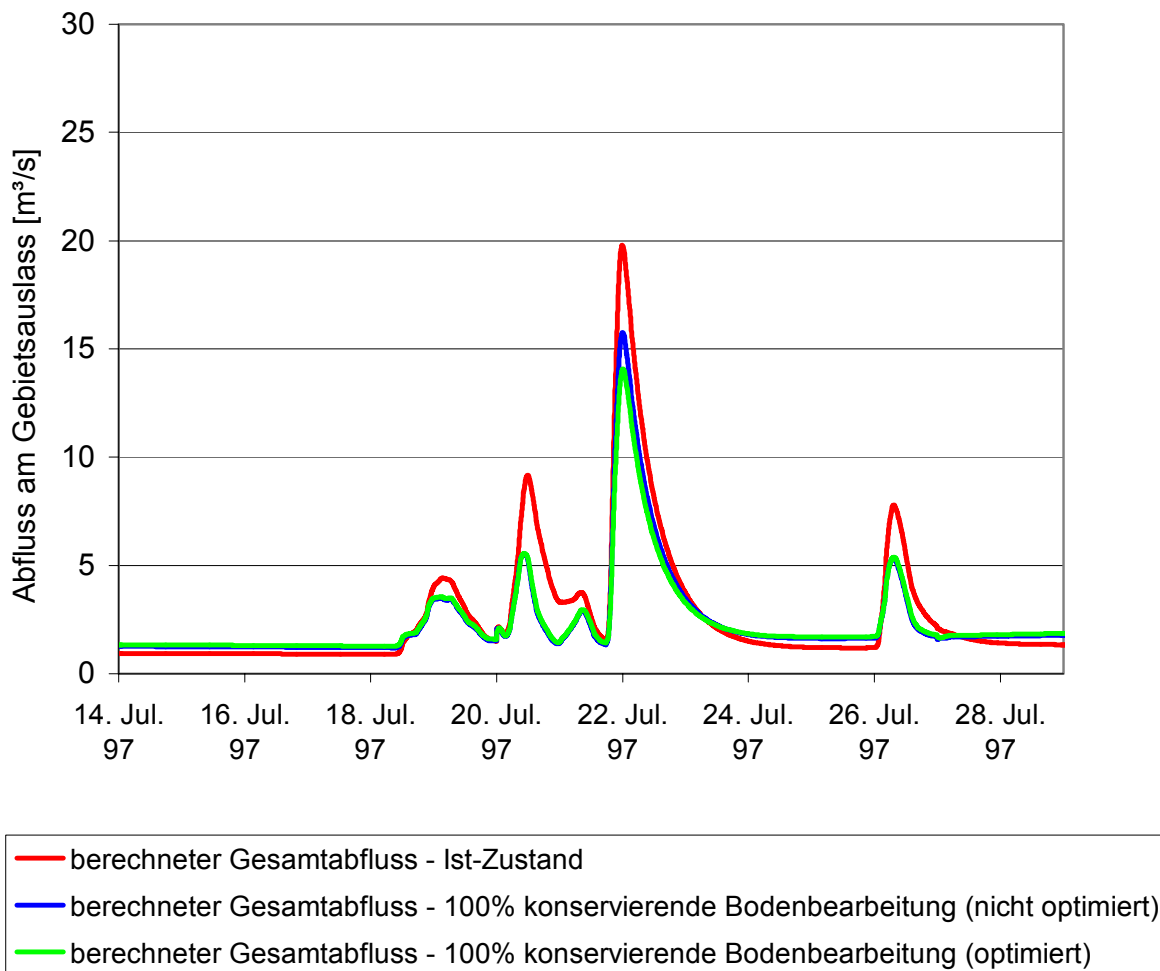


Abbildung 40: Auswirkung der konservierenden Bodenbearbeitung auf den Abfluss im Testgebiet Pließnitz

Bezogen auf das Gesamtgebiet fallen die Unterschiede zwischen Ist-Zustand und den Umsetzungsszenarien der konservierenden Bodenbearbeitung wesentlich kleiner aus, weil sich die Abflüsse aus der Pließnitz und der Mandau mit Abflüssen aus Tschechien und Polen überlagern. Da das Umsetzungspotential für die polnischen und tschechischen Bereiche des Einzugsgebietes nicht zu ermitteln war, wurden hier weiterhin die Abflüsse des Ist-Zustandes angenommen.

In Abbildung 41 sind die berechneten Abflüsse am Pegel Görlitz im Ist-Zustand und für zwei Umsetzungsszenarien dargestellt. Auch wenn die Differenz zum Ist-Zustand nicht mehr ganz so deutlich ist wie im Pließnitzgebiet (siehe Abbildung 40), so ist doch bemerkenswert, dass auch bei einem so extremen Hochwasser wie dem im Juli 1981 ein sichtbarer Effekt auch in Bezug auf das Gesamtgebiet festzustellen ist. Die Grafik bestätigt die Ausgangsthese dieses

Forschungsvorhabens, dass auch ohne zentrale Retentionsmaßnahmen im Gewässersystem selbst extreme Hochwasser in großen Einzugsgebieten reduziert werden können, wenn die Entstehung der Hochwasserwelle in der Fläche, insbesondere auf Ackerflächen, verringert wird.

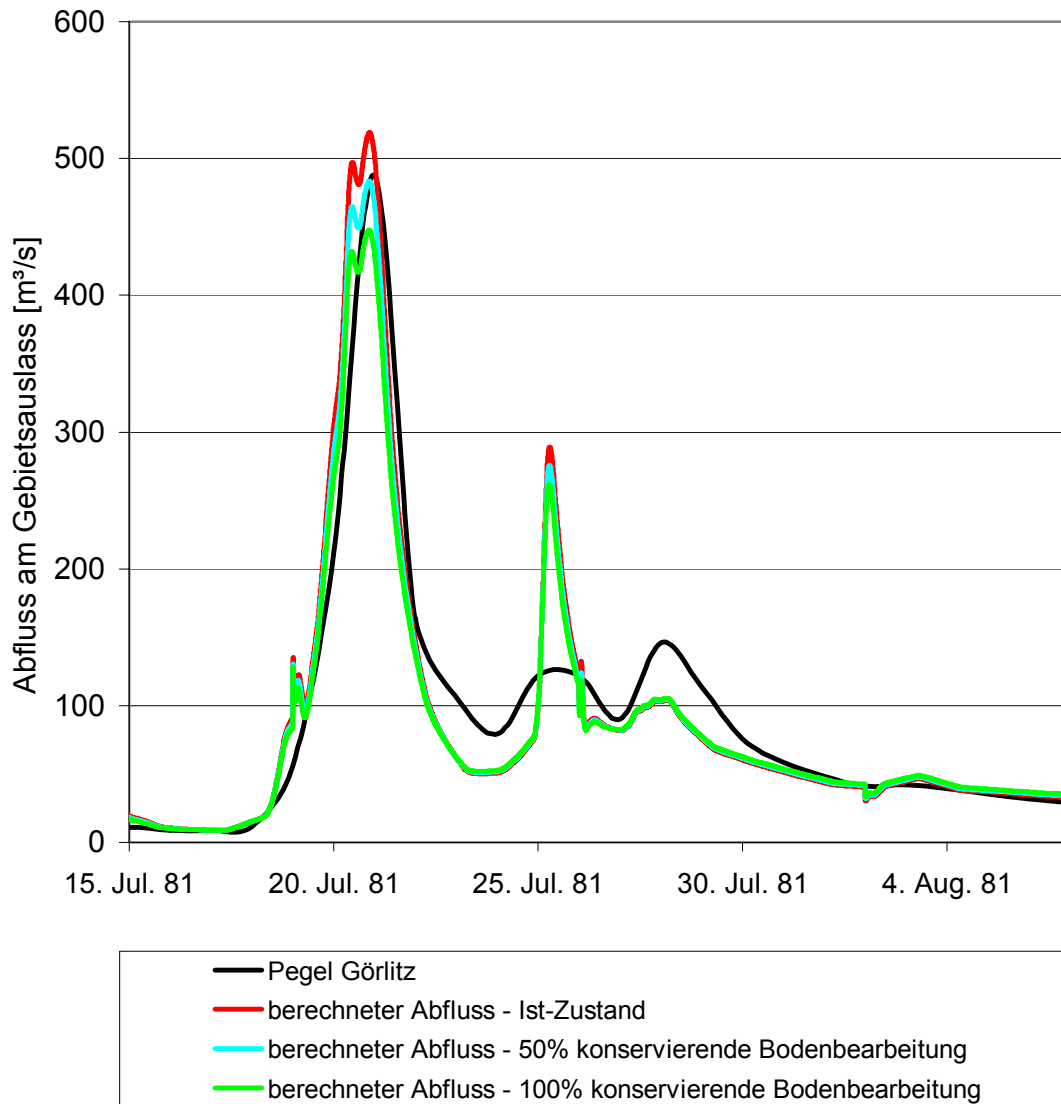


Abbildung 41: Auswirkung der konservierenden Bodenbearbeitung auf den Abfluss des Gesamtgebietes – Hochwasserereignis 1981

In Tabelle 16 wird die These nochmals anhand weiterer Ergebnisse der Berechnungen untermauert. Die Zahlen beziehen sich auf den deutschen Teil des Einzugsgebietes, in dem die konservierende Bodenbearbeitung in Szenarien umgesetzt wurde.

Bereits bei einer Umstellung von 25% der Ackerflächen auf konservierende Bodenbearbeitung kann das Abflussvolumen der Region um 4% reduziert werden. Für umfangreichere Umsetzungsszenarien entwickelt sich das reduzierte Hochwasserabflussvolumen proportional zum Anteil der konservierend bearbeiteten Flächen.

Gleiches gilt für die Reduktion des Oberflächenabflusses von natürlichen Flächen. In dieser Größe sind die schnellen Abflüsse von Wald-, Grünland-, Garten- und Ackerflächen zusammengefasst. Der starke Rückgang des Oberflächenabflusses mit zunehmender konservierender Bodenbearbeitung dokumentiert den dominierenden Einfluss der Ackerflächen auf das Abflussgeschehen in ländlichen Einzugsgebieten.

Szenarien	Hochwasser Juli 1997 – Niederschlagssumme 239 mm vom 15.06.- 06.08.1997		Hochwasser Juli 1981– Niederschlagssumme 304 mm vom 21.06.- 20.08.1981	
	Abflussvolumen [Mio. m³]	Abfluss natürlicher Flächen [mm]	Abflussvolumen [Mio. m³]	Abfluss natürlicher Flächen [mm]
Ist-Zustand	34,2	38	54,3	53
25% konservierende Bodenbearbeitung	32,7 4%	33 13%	52,1 4%	46 14%
50% konservierende Bodenbearbeitung	31,4 8%	28 26%	50,1 8%	38 29%
100% konservierende Bodenbearbeitung (nicht optimiert)	29,8 13%	21 45%	47,2 13%	24 55%
100% konservierende Bodenbearbeitung (optimiert)	28,1 18%	17 55%	46,1 15%	21 61%

Tabelle 16: Abflussvolumina und Oberflächenabfluss des deutschen Einzugsgebietes im Vergleich zwischen Ist-Zustand und Umsetzungsszenarien (die Prozentwerte sind die Differenz zum Ist-Zustand)

6.5 Auswirkungen auf die Hydraulik der Lausitzer Neiße am Beispiel Ostritz/ St. Marienthal

Nachdem in Kapitel 6.4.2 allgemein die Bedeutung der konservierenden Bodenbearbeitung für den vorbeugenden Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße erläutert wurde, bleibt die Ausgangsfrage zu beantworten, ob und in welchem Umfang die Umsetzungsszenarien auch für das Kloster St. Marienthal einen wirksamen Schutz vor Überflutungen darstellen.

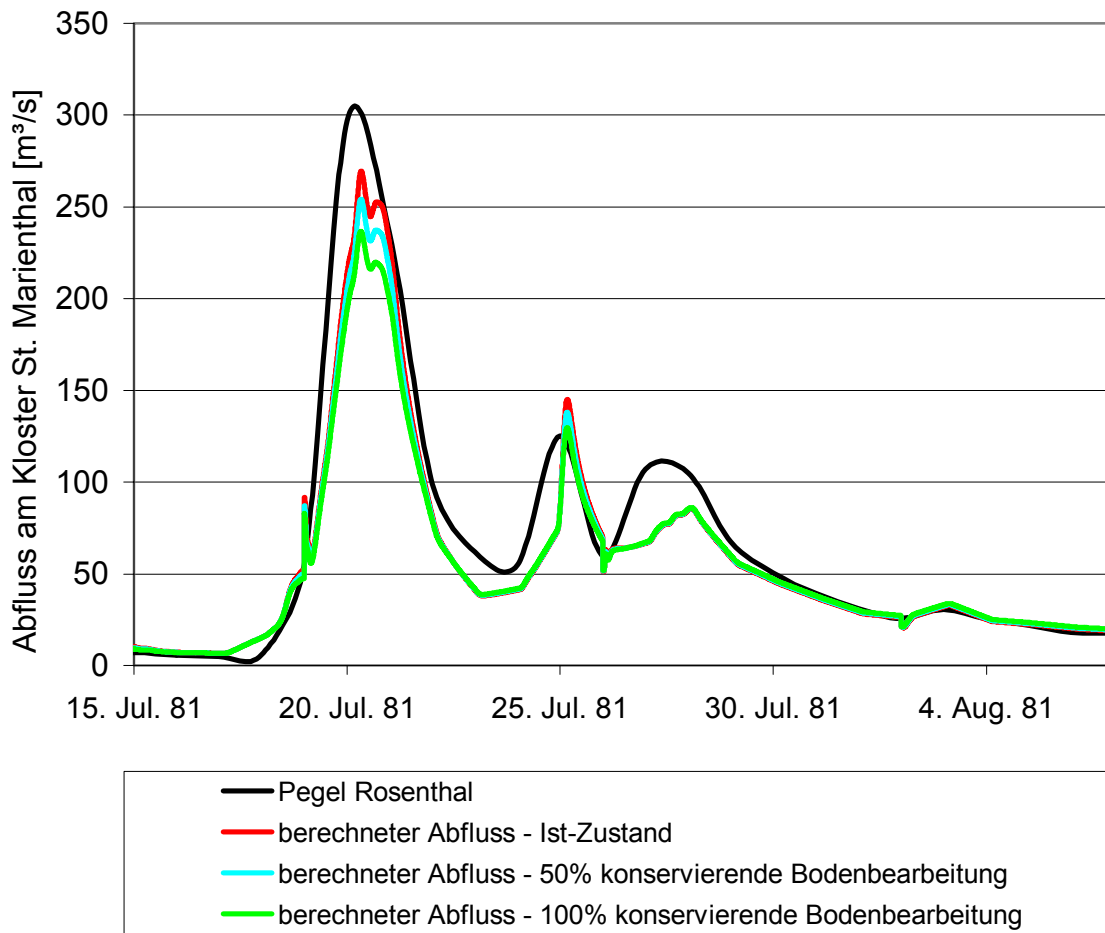


Abbildung 42: Auswirkung der konservierenden Bodenbearbeitung auf den Abfluss am Kloster St. Marienthal – Hochwasserereignis 1981

In Abbildung 42 sind die berechneten Abflüsse für die Lausitzer Neiße auf Höhe des Klosters St. Marienthal dargestellt. An dieser Stelle müssen die gleichen Anmerkungen gemacht werden, die schon auf die Abbildung 38 und Abbildung 39 zutreffen und dort bereits erläutert wurden. Die Tatsache, dass der berechnete Abflusspeak kleiner ist als die real abgeflossene Hochwasserwelle gilt selbstverständlich auch für diesen Abschnitt der Lausitzer Neiße. Bedingt durch die mangelnde Datenlage für das Hochwasserereignis 1981, die sicherlich ein wichtiger Grund hierfür ist, wurde davon abgesehen, diese Abweichungen zu beseitigen. Ohne realitätsnahe Abflüsse für das Hochwasserereignis 1981 musste von der Planung Abstand genommen werden, die Wasserstandsverhältnisse in der Lausitzer Neiße im Ist-Zustand und für die betrachteten Umsetzungsszenarien mit Hilfe eines hydrodynamischen Gerinnemodells zu berechnen. Als geeignetstes Programm für diese Aufgabe war das ATV-Gewässergütemodell (Version 1.2) [ATV, 1998] vorgesehen. Die Daten der Gerinnegeometrie für die Lausitzer Neiße waren bereits in das Modell eingegeben worden. Eine Berechnung realer und damit kalibrierbarer Wasserstände konnte jedoch aus den genannten Gründe nicht erfolgen.

So bedauerlich die fehlende Wasserstandsbeachtung ist, umso aussagekräftiger sind die berechneten Werte der Abflussvolumina und Oberflächenabflüsse, zusammen mit den Ergebnissen für das kalibrierte Hochwasser aus dem Jahre 1997 (siehe Tabelle 17).

In Tabelle 17 ist analog zu Tabelle 16 die Reduktion des Abflussvolumens und des natürlichen Oberflächenabflusses infolge stufenweiser Einführung der konservierenden Bodenbearbeitung dargestellt.

Szenario	Hochwasser Juli 1997 – Niederschlagssumme 239 mm vom 15.6.- 6.8.1997		Hochwasser Juli 1981– Niederschlagssumme 304 mm vom 21.6.- 20.8.1981	
	Abflussvolumen [Mio. m³]	Abfluss natürlicher Flächen [mm]	Abflussvolumen [Mio. m³]	Abfluss natürlicher Flächen [mm]
Ist-Zustand	16,6	38	26,4	52
25% konservierende Bodenbearbeitung	16,0 (-0,6) 4%	33 13%	25,5 (- 0,9) 3%	45 13%
50% konservierende Bodenbearbeitung	15,4 (-1,2) 7%	28 26%	24,6 (-1,8) 7%	38 27%
100% konservierende Bodenbearbeitung (nicht optimiert)	14,6 (-2,0) 12%	21 45%	23,2 (-3,2) 12%	24 54%
100% konservierende Bodenbearbeitung (optimiert)	13,8 (-2,8) 17%	17 55%	22,6 (-3,8) 14%	21 60%

Tabelle 17: Abflussvolumina und Oberflächenabfluss für das deutsche Einzugsgebiet bis zum Kloster St. Marienthal im Vergleich zwischen Ist-Zustand und Umsetzungsszenarien (die Prozentwerte sind die Differenz zum Ist-Zustand)

Mit Hilfe der Tabelle 17 kann explizit die Frage beantwortet werden, wie viel Prozent der Ackerflächen oberhalb des Klosters St. Marienthal/ Ostritz konservierend bearbeitet werden müssten, damit ein objektbezogener Hochwasserschutz (z. B. Schutzmauern oder Deiche) im Bereich St. Marienthal/ Ostritz realisiert werden könnte, ohne dass durch den damit verbundenen Wegfall von Überschwemmungsflächen mit einer Verschärfung der Hochwassersituation im Unterlauf zu rechnen ist. Groben Schätzungen zufolge ist davon auszugehen, dass bei der Eindeichung des Auenbereiches Kloster St. Marienthal/ Ostritz rund eine Million Kubikmeter Hochwasserretentionsvolumen verloren geht.

Der Vergleich mit Tabelle 17 zeigt, dass etwas mehr als 25% der Ackerflächen im deutschen Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße auf konservierende Bodenbearbeitung umgestellt werden müssten, um bei einem Hochwasserereignis ähnlich dem im Juli 1981, das fehlende Retentionsvolumen von einer Million Kubikmetern in der Neißeau zu kompensieren. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass rund 2500 Hektar Ackerflächen oberhalb des Klosters St. Marienthal durch konservierende Bodenbearbeitung zum vorbeugenden Hochwasserschutz beitragen müssten. Dass diese Reduktion des Abflussvolumens nicht nur dem Schutz von Ostritz, sondern allen gewässernahen Bauwerken, den Gewässern, ihren Uferbefestigungen und nicht zuletzt den Ackerflächen und ihren Böden zugute kommt, braucht eigentlich nicht erwähnt werden.

6.6 Extremwertstatistische Auswertung der Abflussberechnungen im Ist-Zustand und bei konservierender Bodenbearbeitung

Um eine generelle Aussage zur Veränderung des Abflussverhaltens der Lausitzer Neiße im Ist-Zustand und bei konservierender Bodenbearbeitung treffen zu können, die über die Betrachtung der konkreten Hochwasserereignisse 1981 und 1997 hinausgehen, wurden mit dem NASIM-Modell für das Gesamtgebiet Langzeitkontinuumsimulationen durchgeführt.

Für die ganzjährige N-A-Modellierung wurden Jahresganglinien für die Interzeption landwirtschaftlicher Flächen von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft zur Verfügung gestellt. Aus Mangel an langjährigen, zeitlich hochaufgelösten Klimadaten wurden hierzu die Niederschlags-, Temperatur- und Verdunstungsdaten einer Stadt in Sachsen verwendet, die nicht im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße liegt. Hinter dieser Vorgehensweise steckt die gedankliche Annahme, dass dieses natürliche tatsächlich stattgefundenere Niederschlagsgeschehen über insgesamt 33 Jahre im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße auftreten würde.

Das Ergebnisse dieser Langzeitkontinuumsimulationen sind langjährige Abflussganglinien, die mehrere Hochwasserereignisse enthalten und die extremwertstatistisch ausgewertet werden können. In Abbildung 43 ist das Ergebnis der statistischen Auswertung für den Ist-Zustand im Vergleich zum Umsetzungsszenario mit 100% konservierender Bodenbearbeitung zu sehen. Es wird deutlich, dass für alle Wiederkehrzeiten (in Jahren) oder Wiederkehrwahrscheinlichkeiten (in 1/a) die konservierende Bodenbearbeitung zu geringeren Abflussspitzen in der Lausitzer Neiße führt, als im Ist-Zustand. Sowohl kleinere Hochwasser als auch „Jahrhunderthochwasser“ würden demnach mit geringeren Maximalwasserständen am Kloster St. Marienthal vorbeifließen.

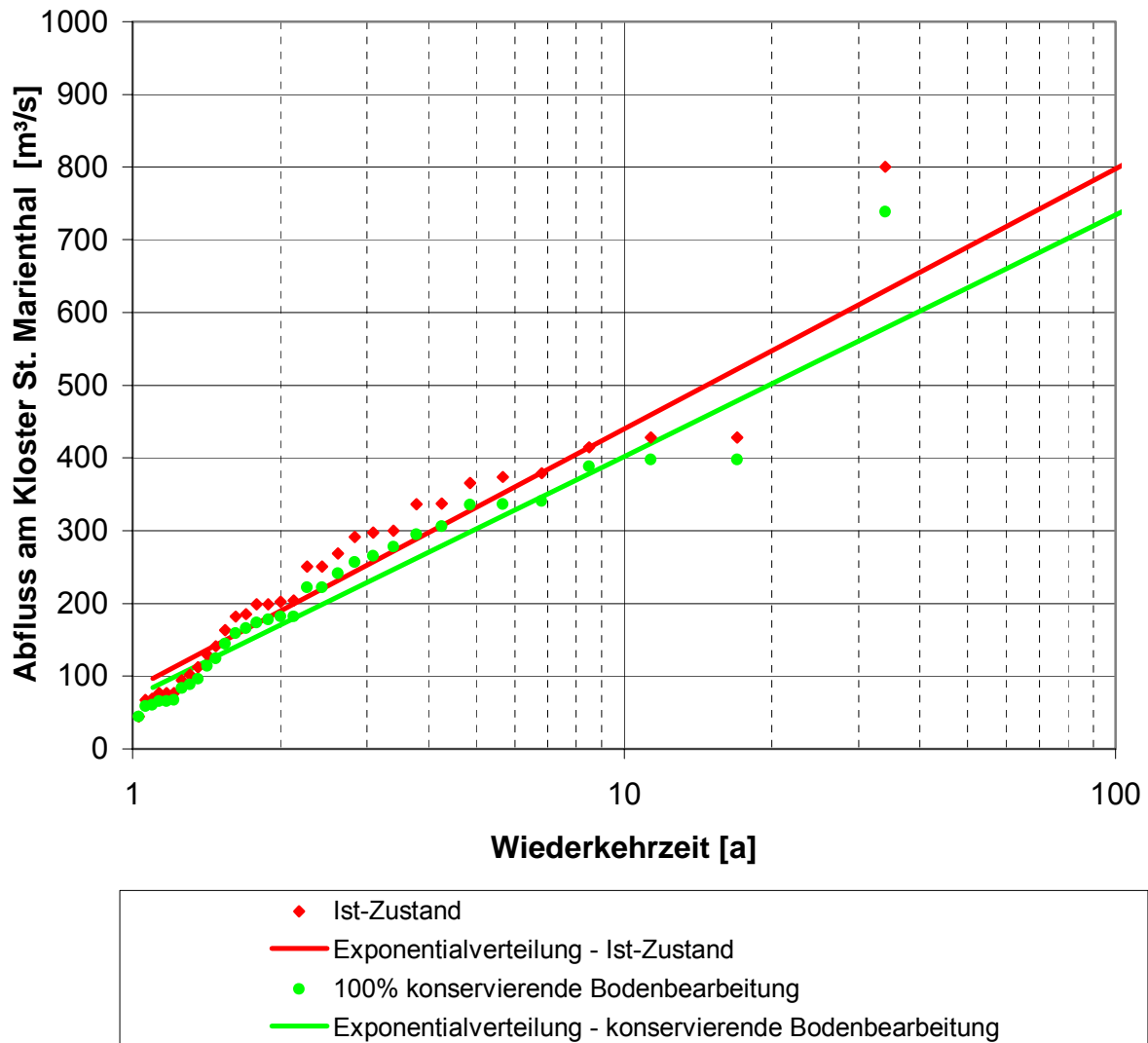


Abbildung 43: Extremwertstatistische Betrachtung der Abflüsse am Kloster St. Marienthal

6.7 Diskussion der Ergebnisse der Niederschlags-Abfluss-Simulation

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Kalibrierung des Ist-Zustandes für das Hochwasserereignis im Juli 1997 erfolgreich war. Es konnte gezeigt werden, dass sowohl für kleine als auch für Einzugsgebiete mittlerer Größe ein geeigneter Modellparametersatz gefunden wurde.

Bedingt durch die relativ schwierige Datenlage entspricht die Nachbildung des Extremhochwassers im Juli 1981 nur bedingt dem realen Abflussgeschehen.

Dennoch war es möglich, auch für dieses Hochwasser die Unterschiede zwischen momentaner und konservierender Bodenbearbeitung im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße herauszuarbeiten und aufzuzeigen, dass auch extreme Hochwasserabflüsse durch infiltrationsfördernde Bodenbearbeitung verringert werden können.

Die Betrachtung eines Einzugsgebietes von insgesamt 450 km² hat gezeigt, dass der hochwasserreduzierende Einfluss dezentraler Maßnahmen in der Landwirtschaft sowohl regionale aber auch überregionale Auswirkungen auf Hochwasserereignisse hat.

Bezogen auf das konkrete Beispiel Kloster St. Marienthal/ Ostritz wurde aufgezeigt, dass das Konzept des vorbeugenden Hochwasserschutzes auf landwirtschaftlichen Flächen die Möglichkeit eröffnet, historische Ansiedlungen in der Flussaue durch Eindeichung des Flusses zu schützen, ohne automatisch damit die allgemeine Hochwassersituation zu verschärfen.

7 Raumplanerische Aspekte zur Umsetzung des vorbeugenden Hochwasserschutzes (R)

7.1 Rechtliche und verwaltungstechnische Aspekte eines vorbeugenden dezentralen Hochwasserschutzes

In den vorangegangenen Kapiteln wurde dargestellt, welchen Einfluss dezentrale Maßnahmen in der Landwirtschaft sowie der Siedlungswasserwirtschaft auf das Abflussverhalten im Einzugsgebiet insbesondere der Lausitzer Neiße haben. Die untersuchten und hinsichtlich des vorbeugenden Hochwasserschutzes für besonders effektiv befundenen dezentralen Maßnahmen bedürfen nun der rechtlichen und verwaltungstechnischen Verankerung und Realisierung. Dieses Kapitel widmet sich deshalb den rechtlichen Rahmenbedingungen und Umsetzungsinstrumenten. Dabei wird eine breite Palette von Fachbereichen betrachtet, die für den vorbeugenden Hochwasserschutz durch dezentrale Maßnahmen von Relevanz sind. Aufgrund der unterschiedlichen Voraussetzungen und der Entwicklungen in den drei Anliegerstaaten Deutschland, Polen und der Tschechischen Republik werden die Rahmenbedingungen in Deutschland sowie den beiden Nachbarländern Polen und Tschechien getrennt voneinander untersucht. Den Schwerpunkt der Analyse bildet dabei das deutsche Recht, da zum einen das deutsche Rechtssystem sehr viel differenzierter ausgestaltet ist, zum anderen praktische Gründe wie die Beschaffung von Informationen in deutscher Sprache der Analyse der Rechtssysteme von Polen und Tschechien enge Grenzen setzen.

7.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen und Umsetzungsinstrumente in Deutschland

Der vorbeugende Hochwasserschutz durch dezentrale Maßnahmen tangiert in Deutschland sehr viele verschiedene Fachbereiche, die jeweils eigene rechtliche Regelungen und Umsetzungsinstrumente für den Hochwasserschutz einsetzen können. Zu nennen sind hier insbesondere die Fachbereiche Regionalplanung und Bauleitplanung als räumliche Planungsbereiche, die Wasserwirtschaft und der Naturschutz als traditionelle Fachplanungen, der Bodenschutz, der erst in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen hat, sowie die Land- und Forstwirtschaft, in denen neben rechtlichen Regelungen die Land- und Forstwirtschaftspolitik einschließlich der Förderinstrumente eine große Rolle spielt. Diese Fachbereiche werden im Folgenden daraufhin untersucht, inwiefern deren Zielsetzungen den Hochwasserschutz explizit verfolgen und welche rechtlichen Regelungen, Planungs- und Umsetzungsinstrumente jeweils existieren.

7.1.1.1 Regionalplanung

7.1.1.1.1 Zielsetzung

Schmitz definiert die Regionalplanung als „vorausschauende, zusammenfassende, überörtliche und überfachliche Planung für die raum- und siedlungsstrukturelle Entwicklung der Region auf längere Sicht“ (Schmitz 1995, 823). Das Raumordnungsgesetz (ROG) selbst nennt in § 1 Abs. 1 als wesentliche Zielsetzungen der Raumordnung und damit auch der Regionalplanung, „unterschiedliche Anforderungen an den Raum aufeinander abzustimmen“, „Konflikte auszugleichen“ und „Vorsorge für einzelne Raumfunktionen und Raumnutzungen“ zu treffen. Hochwasserschutz ist als Aufgabe der Daseinsvorsorge schon in diesen allgemeinen Zielbestimmungen der Regionalplanung implizit enthalten. Das Raumordnungsgesetz konkretisiert darüber hinaus die allgemeine raumordnerische Zielsetzung des § 1 in den Grundsätzen des § 2. Mit der Gesetzesnovelle 1998 wurde der Hochwasserschutz als Grundsatz hinzugefügt und gilt nun unmittelbar – ohne Umsetzung in Landesrecht – für alle öffentlichen Planungen und Maßnahmen:

„Für den vorbeugenden Hochwasserschutz ist an der Küste und im Binnenland zu sorgen, im Binnenland vor allem durch Sicherung oder Rückgewinnung von Auen, Rückhalteflächen und überschwemmungsgefährdeten Bereichen“ (§ 2 Abs. 2 Nr. 8 ROG).

In diesem Grundsatz wird besonderes Gewicht auf die Sicherung und Rückgewinnung von Retentionsraum gelegt. Dezentrale Maßnahmen im Freiraum oder in der Siedlungswasserwirtschaft werden nicht direkt angesprochen, sondern sind lediglich impliziert.

Es ist dabei darauf hinzuweisen, dass als Grundsätze in das Raumordnungsgesetz nur solche Belange aufgenommen werden, „die unmittelbar mit den Instrumenten der Raumordnung beeinflusst werden können“ (Runkel 1997, 2). Insofern ist davon auszugehen, dass mit der Aufnahme des Hochwasserschutzes als Grundsatz auch der Auftrag zur Verwirklichung mit den Instrumenten der Raumordnung gegeben ist.

Neben dieser Aufwertung des Hochwasserschutzes durch den Gesetzgeber, hat auch die Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) in mehreren Beschlüssen der letzten Jahre (1995, 1996, 1998, 2000) die Rolle der Regionalplanung für den vorsorgenden Hochwasserschutz auch im Bereich dezentraler Maßnahmen betont.

„Neben Maßnahmen zum vorbeugenden Hochwasserschutz an Flüssen und in ihren Abfluss- und Retentionsbereichen sind auch im gesamten Einzugsgebiet Maßnahmen zum Wasserrückhalt zu ergreifen“ (MKRO 2000, Abschnitt 8).

7.1.1.1.2 Instrumentarium

Klassisches Planungsinstrument und – im traditionellen Verständnis – Kernaufgabe der Regionalplanung ist der regionale Raumordnungsplan resp. Regionalplan (vgl. Schmitz 1995, 826). Dieser enthält die Zielsetzungen für die Entwicklung der Region in zeichnerischer und textlicher Form. Er wird nach § 7 Abs. 1 ROG für einen mittelfristigen Zeitraum, d.h. in der Regel für etwa zehn Jahre, aufgestellt. Der Planungsraum der Regionalplanung liegt unterhalb

der Ebene des Bundes und der Länder und als übergeordnete Planung oberhalb der kommunalen Ebene und orientiert sich nicht an natürlichen Gegebenheiten wie etwa Flusseinzugsgebieten oder Reliefformen.

Die regionalplanerischen Festsetzungen üben auf alle öffentliche Stellen wie Kommunen oder Fachplanungsbehörden sowie auf Personen des Privatrechts, sofern diese öffentliche Aufgaben wahrnehmen, bei ihren raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen eine rechtliche Bindungswirkung aus. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Zielen und Grundsätzen der Raumordnung und Landesplanung: Während Ziele als vom Träger der Regionalplanung abschließend abgewogene Festsetzungen eine umfassende Beachtungspflicht ohne weitere Abwägungsmöglichkeiten bewirken, sind Grundsätze der Raumordnung von nachfolgenden Planungsträgern lediglich zu berücksichtigen und damit einer Abwägung zugänglich.

Die MKRO hat Handlungsempfehlungen entwickelt, welche Festsetzungen zum vorbeugenden, dezentralen Hochwasserschutz in Regionalplänen als Ziele und Grundsätze in textlicher und zeichnerischer Form getroffen werden sollten (MKRO 2000, Abschnitt 8):

„Festlegungen zur Sicherung und Entwicklung von Freiräumen (Wald- und Agrarbereichen, Bereichen zum Schutz des Grundwassers, Bereichen zum Schutz von Natur und Landschaft) und zur Ausgestaltung von Siedlungsbereichen.“

Begründung: „In den Raumordnungsplänen sollte dementsprechend grundsätzlich verankert werden, dass im gesamten Einzugsgebiet verstärkt auf einen Rückhalt und verlangsamten Abfluss des Wassers hinzuwirken ist und dass auch in Siedlungsbereichen die Möglichkeiten einer ortsnahen Versickerung von Niederschlagswasser zu nutzen sind.“

„Festlegungen zur Änderung der Flächennutzung in den Einzugsgebieten von Gewässern mit besonderer Hochwassergefährdung“

Begründung: „Soweit erforderlich kann festgelegt werden, dass in Vorrang- bzw. Vorbehaltsgebieten zur Wasserrückhaltung raumbedeutsame Flächennutzungsänderungen auf ihre Relevanz zur Abflussbildung geprüft werden oder dass besondere Maßnahmen ergriffen werden sollen, die indirekt dem vorsorgenden Hochwasserschutz dienen (z.B. Aufforstungen, Erosionsschutz, vordringliche Renaturierung der Fließgewässer).“

Es bleibt festzuhalten, dass die Regionalplanung sowohl seitens des Gesetzgebers als auch durch die MKRO aufgefordert wird, durch Festsetzungen im Regionalplan den vorbeugenden Hochwasserschutz zu verwirklichen. Nach den Handlungsempfehlungen der MKRO sollten die Festsetzungen insbesondere Aussagen zum dezentralen Rückhalt von Niederschlagswasser im gesamten Einzugsgebiet beinhalten.

Jedoch ist auch zu konstatieren, dass die Regionalplanung gerade hinsichtlich des dezentralen Hochwasserschutzes, der über die quantitative Flächeninanspruchnahme von Nutzungen hinausgeht und gerade auch qualitative Aspekte tangiert, an ihre instrumentellen Grenzen stößt. Da auch die Regionalplanung dem Subsidiaritätsprinzip unterliegt, ist sie nur legitimiert, Festsetzungen zu treffen, wenn die Problemlösung nicht auf anderen Ebenen mit anderen Instrumenten effizienter und mit einer geringeren obrigkeitlichen Eingriffsintensität erfolgen kann. So ist beispielsweise denkbar, dass einige Zielsetzungen sehr wirkungsvoll durch die Landschaftsplanung, Beratungs- und Förderinstrumente verwirklicht werden können.

Gleichzeitig ist auch zu fragen, inwiefern die Zieladressaten der Festsetzungen überhaupt über die Regionalplanung erreicht werden können. So sind private Akteure wie etwa die Landwirte nicht an die Regionalplanung gebunden. In diesem Zusammenhang kann man jedoch dann davon ausgehen, dass Festsetzungen dann gerechtfertigt sind, wenn die privaten Akteure etwa über Interessenvertreter wie die Landwirtschaftskammern oder entsprechende Landesanstalten indirekt beeinflusst werden können.

7.1.1.1.3 Analyse existierender Regionalpläne: Festsetzungen zum Hochwasserschutz

Da die Regionalplanung aufgrund ihrer regionalen und übergeordneten Ausrichtung und ihrer umfassenden Bindungswirkung einen entscheidenden Beitrag zur Umsetzung des dezentralen Hochwasserschutzes leisten kann und gemäß den obigen Ausführungen auch aufgefordert ist, dies zu tun, soll im Folgenden die aktuelle Praxis regionalplanerischer Festsetzungen zum vorbeugenden Hochwasserschutz genauer untersucht werden. Dies ermöglicht es, positive Beispiele für Festsetzungen im Sinne der best practices sowie Mängel in der praktischen Anwendung der regionalplanerischen Möglichkeiten zu eruieren.

Im Rahmen des Projektes wurden 53 regionale Raumordnungspläne (vgl. Literaturliste) aus insgesamt 11 Bundesländern analysiert. Die Pläne sind jeweils daraufhin untersucht, ob für den Hochwasserschutz relevante Themen in den Festsetzungen des Plans oder den Erläuterungen erwähnt werden und ob dabei ein Hinweis auf die Bedeutung für den Hochwasserschutz erfolgt. Der Regionalplan der Region Oberlausitz-Niederschlesien liegt als einziger Regionalplan aus dem Projektgebiet an der Lausitzer Neiße dieser Auswertung vor; sofern hier relevante Aussagen getroffen werden, werden diese besonders hervorgehoben.

Die genaue rechtliche Bindungswirkung und die inhaltliche Qualität der Festsetzungen sind im Rahmen dieses Projektes nicht Gegenstand der Untersuchung. Bei der Interpretation der Ergebnisse der Untersuchung ist zu berücksichtigen, dass nicht wenige Pläne des Bundesgebietes nicht zur Auswertung vorliegen und dass bei einigen Plänen nur die direkt dem Hochwasserschutz gewidmeten Kapitel zur Verfügung stehen. Zudem soll darauf hingewiesen werden, dass die Einteilung der Themenblöcke und die Zuordnung von Textaussagen zu den Themen zwar möglichst objektiv erfolgt, jedoch eine gewisse Beeinflussung durch subjektive Wertschätzungen nicht zu verhindern ist. Insgesamt ermöglicht die Untersuchung jedoch durchaus die Formulierung bestimmter Trends hinsichtlich der Relevanz hochwasserbezogener Zielsetzungen in regionalen Raumordnungsplänen.

Der Analyse der Regionalpläne liegen sieben verschiedene Themenblöcke zugrunde. Diese werden entsprechend den beiden Ansätzen des Forschungsprojektes unterteilt in fünf Themen zum Bereich „Maßnahmen im Freiraum“ und weiteren zwei Themen im Bereich „Maßnahmen in Siedlungsbereich“. Um die Bedeutung, welche den dezentralen Maßnahmen im Bereich des vorsorgenden Hochwasserschutzes von der Regionalplanung eingeräumt wird, besser beurteilen zu können, sind in der Übersichtstabelle (vgl. Tabelle 18) auch die Nennungen

zentraler Maßnahmen enthalten. Im Folgenden sollen zu jedem Themenblock die wesentlichen Erkenntnisse kurz dargestellt werden.

Thema	im Regionalplan angesprochen	dabei Hinweis auf Hochwasserschutz
Maßnahmen am Gewässer (zentral)		
<i>Sicherung und Wiederherstellung von Überschwemmungsflächen</i>	46	46
<i>naturnahe Gestaltung von Fließgewässern</i>	51	20
<i>Technischer Hochwasserschutz</i>	33	33
Maßnahmen in der Fläche (dezentral)		
im Freiraum		
<i>Erhalt, Aufforstung und Umwandlung von Wald</i>	51	22
<i>Flurdurchgrünung</i>	49	7
<i>Ökologische Landwirtschaft</i>	41	8
<i>Grünlandnutzung</i>	34	12
<i>Regelung des Bodenwasserhaushaltes</i>	39	5
im Siedlungsbereich		
<i>Minimierung der Versiegelung</i>	38	21
<i>Versickerung von Niederschlagswasser</i>	30	14

Tabelle 18: Nennungen der Themen in Regionalplänen

Maßnahmen im Freiraum

- Das Thema, dem regionalplanerisch die größte Beachtung geschenkt wird, ist der **Erhalt, die Aufforstung und die Umwandlung von Wald**. Diese Zielsetzung wird in 51 der 53 untersuchten Regionalpläne thematisiert. In vielen Fällen wird lediglich die regulierende Funktion der Wälder in Bezug auf den Wasserhaushalt, in 22 Fällen jedoch auch direkt die Bedeutung für den Hochwasserschutz als Argument verwendet. Häufig werden Vorranggebiete genannt oder auch zeichnerisch dargestellt, die der forstwirtschaftlichen Nutzung vorbehalten bleiben sollen, die aufgeforstet werden sollen und in denen pflegende Maßnahmen zu erfolgen haben, so z.B. an Steilhängen oder auf Kuppen. Zu den pflegenden Maßnahmen gehören beispielsweise die Erhöhung des Laubholzanteils, die Bestockung mit tief und intensiv wurzelnden Baumarten und die Verjüngung des Waldes.

Als Beispiel für eine Festlegung dieses Themenbereichs kann der Regionale Raumordnungsplan Ostthüringen fungieren:

Die abflussverzögernde Wirkung insbesondere der Wälder und der Tal- und Auenbereiche soll erhalten werden und zu einem ausgeglichenen Wasserhaushalt beitragen“ (Regionaler Raumordnungsplan Ostthüringen, Ziel 6.4, S. 86).

Der für das Forschungsprojekt besonders relevante Regionalplan Oberlausitz-Niederschlesien legt sowohl textlich als auch zeichnerisch zu schützende und aufzuforstende Waldbereiche fest. Zu diesen gehören insbesondere Bereiche in sogenannten Hochwasserentstehungsgebieten, beispielsweise im Pließnitz-Einzugsgebiet in der Nähe von Berthelsdorf. Die Festlegungen beruhen auf dem Landesentwicklungsplan des Landes Sachsen, insbesondere einer Begründungskarte, in der Wald mit besonderer Hochwasserschutzfunktion dargestellt ist (vgl. ebd., Erläuterung zu Z II.4.4.5.8).

- Die **Flurdurchgrünung** ist mit 49 Nennungen ebenfalls ein sehr wichtiges regionalplanerisches Thema, das sich zum einen auf die Festlegung regionaler Grünzüge und Grünzäsuren erstreckt, aber auch den Erhalt bzw. die Anlage von Strukturelementen wie Hecken beinhaltet. 1/7 der Pläne weisen auf die Bedeutung für den Hochwasserschutz hin. Als Beispiel für entsprechende Festlegungen soll hier wiederum der Regionalplan der Region Oberlausitz-Niederschlesien herangezogen werden:

„In strukturarmen großflächigen Agrarfluren sowie in hängigen und windexponierten Lagen ist darauf hinzuwirken, daß die Erosionsgefahr durch geeignete Erosionsschutzmaßnahmen bei der Landbewirtschaftung gemindert und die Landschaft mit gliedernden Elementen angereichert wird. Die Strukturierung ausgeräumter Agrarlandschaften soll mit standortheimischen Gehölzen und Hecken so erfolgen, daß sich diese Strukturen langfristig zu Teilen des ökologischen Verbundes entwickeln können“ (Regionalplan Oberlausitz-Niederschlesien, Plansatz Z II.4.2.2.20).

In den Erläuterungen wird diese Festlegung dahingehend konkretisiert, dass Flächen ohne gliedernde Elemente bei einer Längenausdehnung von 500 m und einer Mindestgröße von 20 ha als strukturierungsbedürftig gelten (vgl. ebd., Erläuterung zu Z II.4.2.2.20). In der Plankarte des Regionalplans werden sehr großflächig solche strukturierungsbedürftige ausgeräumte Agrarfluren ausgewiesen.

- Eine **ökologische** oder standortangepasste **Landwirtschaft** wird in vielen, insbesondere in den aktuelleren Regionalplänen gefordert. Die Anforderungen an eine ökologische Landwirtschaft werden in einigen Plänen konkretisiert. So werden beispielsweise die hangparallele Bewirtschaftung, Führung von Wirtschaftswegen oder bestimmte Fruchtfolgen als wesentliche Elemente einer standortangepassten Landbewirtschaftung erwähnt. Auch bodenschonende, erosionsmindernde Bewirtschaftungsmethoden werden genannt (vgl. z.B. Regionaler Raumordnungsplan Ostthüringen, Erläuterungen 6.2.1, 5.2.1.2 und 5.2.1.3 sowie Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge, Plansatz 4.2.4.3). Die Maßnahmen werden häufig aus ökologischen Gründen oder Gründen des Erosionsschutzes vorgesehen. In nur 8 der 41 Plänen erfolgt auch ein Hinweis auf die Bedeutung für den Hochwasserschutz.

Im Regionalplan der Region Oberlausitz-Niederschlesien ist festgelegt:

„Die Anwendung der Produktionsformen ‚Integrierter Landbau‘ und ‚Ökologischer Landbau‘ soll regionsweit gestärkt werden, insbesondere in Bereichen hoher wasserwirtschaftlicher Relevanz und in sensiblen Landschaftsteilen (Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft)“ (Plansatz Z III.5.4.4).

In den Erläuterungen des Regionalplans finden sich unter dem Stichwort Erosionsminderung sehr konkrete Empfehlungen für die landwirtschaftliche Bodennutzung:

„Zur Verminderung dieser Erosion und damit zum Schutz der Böden und der Gewässer können Schlagverkleinerungen, nicht wendende, konservierende Bodenbearbeitung, Mulchsaat, Zwischenfruchtanbau, Sicherung einer guten Humusversorgung zum Aufbau stabiler Aggregate, Beseitigen und Vermeiden hangabwärtsgerichteter Fahrspuren sowie Bestellung quer zum Hang und der Anbau wenig erosionsfördernder Fruchtarten beitragen“ (ebd., Erläuterung zu Z II.4.2.2.20).

- Die **Grünlandnutzung** wird lediglich in 34 Regionalplänen explizit angesprochen. In etwa einem Drittel dieser Pläne wird diese mit dem Hochwasserschutz in Verbindung gebracht. Die Umstellung der Bewirtschaftung von Ackerland auf Grünlandnutzung wird insbesondere dort gefordert, wo besondere Standortbedingungen wie überschwemmungsgefährdete Bereiche, Trinkwasserschutzgebiete, Grenzertragsböden oder Hanglagen mit Erosionsgefahr vorliegen.

So setzt beispielsweise der Regionalplan Oderland-Spree fest:

„Sensible ökologische Standorte und Flächen mit Bewirtschaftungerschwernissen wie Niedermoore, Hangkanten, Überschwemmungsgebiete sind vorrangig als Grünland zu nutzen“ (Plansatz 4.3.1.5).

Auch im Regionalplan Oberlausitz-Niederschlesien werden bemerkenswerte Aussagen getroffen: „Auf den regional bedeutsamen stark hängigen Ackerflächen ist auf eine Umwandlung von Ackerland in Grünland oder Wald hinzuwirken (Plansatz Z II. 4.2.2.21).“ Die Erläuterung gibt als Richtwerte für eine derartige Maßnahme eine Hangneigung von über 10 Prozent, eine Hanglänge von mindestens 300 m und eine Mindestackerflächengröße von ca. 10 ha an. In diesem Regionalplan werden die entsprechenden Umwandlungsflächen auch in der Plankarte als Vorranggebiete gekennzeichnet.

- Die **Regelung des Bodenwasserhaushaltes** wird in 39 Regionalplänen angesprochen. Die meisten Aussagen beziehen sich dabei auf den Erhalt wertvoller Feuchtbiotope aus Gründen des Naturschutzes. Die Melioration landwirtschaftlicher Flächen wird nur in 17 Plänen explizit erwähnt und findet damit regionalplanerisch weniger Beachtung. Einige Regionalpläne fordern generell eine Verminderung der Drainagetätigkeit (so z.B. Regionaler Raumordnungsplan Ostthüringen, Plansatz 6.2.1 oder der Regionalplan Trier, Plansatz 3.1.2.1.7). Einige Regionalpläne beschränken diese Forderung auf bestimmte Bereiche wie Überschwemmungsgebiete (vgl. Regionalplan Region Westmittelfranken, Plansatz 4.1). In einigen Plänen werden Vor- und Nachteile auch abwägend gegenüber gestellt.

„Bei allen Entwässerungsvorhaben in den Grünlandgebieten der Region sollen landwirtschaftliche Interessen sorgfältig gegen landschaftsökologische Belange abgewogen werden“ (Regionalplan Oberland, Plansatz 4.1).

Die in dem 1989 aufgestellten Regionalplan Oberpfalz-Nord enthaltene Forderung einer Regelung des Bodenwasserhaushaltes in geeigneten landwirtschaftlichen Nutzflächen im Rahmen der Flurbereinigung (Plansatz 4.2) enthält eine Abwägungsentscheidung zulasten des Hochwasserschutzes. Ein Hinweis auf die Hochwasserbeeinflussung von

landwirtschaftlichen Meliorationsmaßnahmen erfolgt nur indirekt, sofern Meliorationsmaßnahmen in Überschwemmungsgebieten verhindert werden sollen.

Maßnahmen im Siedlungsbereich

Generell werden die Maßnahmen im Siedlungsbereich aufgrund ihres zunächst lokalen Bezuges eher der Bauleitplanung als der Regionalplanung zugeordnet. Zudem hat die wasserwirtschaftliche Fachplanung in zahlreichen Gemeinden bereits gute Ansätze einer dem vorbeugenden Hochwasserschutz gerecht werdenden Siedlungswasserwirtschaft geschaffen. Da die Problematik einer großflächigen Bodenversiegelung und damit verminderter Infiltrationsfähigkeit besonders auf regionaler Ebene deutlich wird und die lokale Ebene aufgrund bestehender Egoismen kaum in der Lage ist, das Problem umfassen zu lösen, ist die Regionalplanung auch im Siedlungsbereich aufgefordert, tätig zu werden. Deshalb sind die Regionalpläne auch hinsichtlich ihrer Aussagen zum vorbeugenden Hochwasserschutz im Siedlungsbereich ausgewertet worden.

- Die Minimierung der Flächenversiegelung wird relativ häufig thematisiert (38 Nennungen). Die Bedeutung für den Hochwasserschutz wird dabei immerhin in 21 Plänen angesprochen. Die nachfolgende Festsetzung stammt aus dem Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge:

„Durch die bevorzugte Inanspruchnahme baulich bereits vorbelasteter Böden, durch eine flächensparende Bauweise, durch die Vermeidung überdimensionierter Freiflächen (...) soll der Versiegelungsgrad minimiert werden“ (Plansatz 4.2.4.6).

In den Regionalplänen Nord- und Südhessen sind neben der Verminderung zusätzlicher Bodenversiegelung auch Entsiegelungsmaßnahmen angesprochen. Eine allgemein flächensparende Siedlungsentwicklung ist darüber hinaus generell in einem Großteil der Pläne verankert.

- Die konkrete Zielsetzung einer Versickerung von Niederschlagswasser, die über die passive Freihaltung von Freifläche hinausgeht, wird immerhin in 30 Plänen thematisiert. 14 dieser Pläne argumentieren für die Versickerung mit der positiven Wirkung auf den Hochwasserschutz. Als Formulierungsbeispiel kann hier der Entwurf des Gebietsentwicklungsplans Bochum und Hagen herangezogen werden:

„Auf einen umweltverträglichen Umgang mit dem Regenwasser ist bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen hinzuwirken. In bestehenden und besonders in geplanten Siedlungsbereichen sind verstärkt Maßnahmen zur Regenwasserversickerung im Hinblick auf eine Grundwasseranreicherung und auf eine Abmilderung unnatürlicher Hochwasserspitzen im Gewässer zu treffen“ (Gebietsentwicklungsplan Regierungsbezirk Arnsberg, Teilabschnitt Oberbereiche Bochum und Hagen, Plansatz 2.4.4).

Der Regionalplan Oberlausitz-Niederschlesien sieht insbesondere für Gemeinden mit Mischwasserkanalisation die mittelfristige Einführung von Regenwasserversickerung vor (Plansatz Z III.8.2.3). In einigen Fällen wie etwa im Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge wird betont, dass eine Versickerung nur erfolgen kann, wenn das Regenwasser als unbelastet anzusehen ist. Einige Pläne verweisen darüber hinaus auf Möglichkeiten der Brauchwassernutzung (Regionalpläne Mittel- und Nordhessen).

7.1.1.1.4 Fazit: Hochwasserschutz in der Regionalplanung

Die Regionalplanung kann durch die umfassende Bindungswirkung nachfolgender Planungsinstanzen an die Festsetzungen des Regionalplans einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung des vorsorgenden Hochwasserschutzes durch dezentrale Maßnahmen leisten. Die Aufnahme des Hochwasserschutzes als Grundsatz in das ROG sowie die verschiedenen Beschlüsse der Ministerkonferenz für Raumordnung bestätigen dies.

Gleichzeitig stößt die Regionalplanung jedoch sowohl aufgrund von Legitimationproblemen als auch hinsichtlich ihrer Wirksamkeit an Grenzen. Die Legitimation regionalplanerischer Festsetzungen ist dann eingeschränkt, wenn die Zielsetzungen wirksamer auf anderen Ebenen und mit anderen Mitteln umgesetzt werden können. Kritische Stimmen sprechen zum Teil von einer Überregulierung und Überfrachtung der Regionalpläne, während in der Praxis festzustellen ist, dass die Festsetzungen nicht umgesetzt werden. In diese Richtung zielt auch die Diskussion um die Verschlinkung von Regionalplänen.¹ Eine Einschränkung ihrer Wirksamkeit erfährt die Regionalplanung auch dadurch, dass sie lediglich behördeninterne Verbindlichkeit besitzt. Private Akteure wie etwa Landwirte, die keine öffentlichen Aufgaben wahrnehmen, können durch die Festsetzungen nicht gebunden werden. Auch öffentliche Akteure können nicht zur Umsetzung der Zielsetzungen gezwungen werden. Jedoch sind de jure Vorhaben, die den Festsetzungen der Regionalplanung widersprechen, nicht zulässig. Zudem ist auch der Informations- und Überzeugungsaspekt regionalplanerischer Festsetzungen nicht zu unterschätzen.

Die Analyse der Regionalpläne zeigt zusammenfassend zwei Aspekte:

Zum einen kann festgestellt werden, dass die in der wissenschaftlichen Diskussion schon seit längerer Zeit eindeutig für positiv befundenen Maßnahmen nur zum Teil in der Regionalplanung Berücksichtigung finden. Es sind sowohl hinsichtlich der Anzahl als auch hinsichtlich der Aussageschärfe noch zahlreiche Mängel in der regionalplanerischen Praxis zu erkennen.

Zum anderen muss jedoch auch konstatiert werden, dass die Regionalplanung in der Praxis bereits jetzt zahlreiche Zielsetzungen des dezentralen Hochwasserschutzes in ihren verbindlichen Plänen festschreibt. Einige regionalplanerische Festsetzungen entsprechen in geradezu vorbildlicher Weise den Ansätzen, die dieses Forschungsprojekt verfolgt. Jedoch fehlt selbst bei sehr umfassenden regionalplanerischen Festsetzungen häufig die Umsetzung in die Realität. Damit ist ein Filterprozess beschrieben, bei dem die inhaltlichen Zielsetzungen von der wissenschaftlichen Erkenntnis über die Verwaltung und hier insbesondere die Regionalplanung bis hin zu der Realisierung stark an Bedeutung verlieren. Die Festsetzungen werden in den Regionalplänen insgesamt in sehr unterschiedlicher Quantität und Qualität berücksichtigt. Der am häufigsten genannte Maßnahmenbereich ist der Erhalt, die Aufforstung

¹ Diese Problematik wurde beispielsweise bei einem Workshop des Institut WAR zum Hochwasserschutz in der Regionalplanung und auf dem Zukunftsforum Raumplanung der ARL am 15. und 16. November 2001 in Bonn diskutiert.

und die Umwandlung von Wald, gefolgt von der Flurdurchgrünung. Bei der Flurdurchgrünung, aber auch im Themenfeld der ökologischen Landwirtschaft sind sehr differenzierte Aussagen zu finden, die den Zielsetzungen dieses Forschungsprojektes sehr nahekommen bzw. sich sogar vollständig mit ihnen decken.

Es sind jedoch auch Mängel zu erkennen:

- Einige Themenblöcke werden in der regionalplanerischen Praxis kaum berücksichtigt. Relativ wenig Beachtung findet beispielsweise die gezielte Versickerung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten sowie die Meliorationsproblematik (Teilaspekt des Bodenwasserhaushalts).
- Nur etwa 45 Prozent der Festsetzungen sind auch tatsächlich mit einem Hinweis auf den Hochwasserschutz versehen. Einige Pläne berücksichtigen den Hochwasserschutz in keiner Weise. Dies kann dazu führen, dass die entsprechende Zielsetzung im Zweifelsfall eines Argumentes beraubt und deswegen weniger durchsetzungsstark ist.
- Einige Festsetzungen sind sehr allgemein gehalten und dürften deshalb für den Planadressaten kaum genügend Anhaltspunkte zur Umsetzung bzw. zur inhaltlichen Ausgestaltung bieten. Zudem wird aufgrund des geringen Konkretisierungsgrades die Verbindlichkeit der Festsetzungen herabgesetzt.
- Sehr selten werden Maßnahmen regionalplanerisch befürwortet, die aus Sicht des Hochwasserschutzes negativ zu bewerten sind. Dies ist gerade bei den sehr alten Plänen eine falsche Schwerpunktsetzung bei der Landwirtschaft (Ertragsmaximierung) sowie insbesondere die Regelung des Bodenwasserhaushaltes.
- Die räumliche Verortung von Maßnahmen wird bei vielen Festsetzungen nicht deutlich. Nur selten sind Festsetzungen in entsprechender Systematik auch in den Plankarten zu finden.

Der Regionalplan der Region Oberlausitz-Niederschlesien legt explizit besondere Maßnahmen in Hochwasserentstehungsgebieten fest (vgl. Plansatz Z II. 4.4.5.8). Dazu gehören ganz allgemein die Hochwasserentstehungsgebiete von Schwarze Elster, Spree und Lausitzer Neiße, die z.T. durch konkretere Gebietsbezeichnungen spezifiziert werden. Leider sind in der Plankarte weder Hochwasserentstehungsgebiete eingezeichnet, noch ist eine Konzentration entsprechender Maßnahmen (z.B. Aufforstungen, Umwandlung von Acker in Grünland) in den genannten Gebieten zu erkennen. Die Abgrenzungsmethodik beruht laut Erläuterungstext auf Erfahrungen mit vorangegangenen Hochwasserereignissen sowie den Festsetzungen des Landesentwicklungsplans Sachsen. Inwiefern dabei übertragbare Kriterien zugrunde gelegt wurden, ist nicht ersichtlich. Da die Bestimmung von Raumfunktionen zu den Hauptaufgaben der Regionalplanung gehört, ist die Entwicklung einer allgemein anwendbaren und wissenschaftlich begründbaren Methode zur Abgrenzung von Hochwasserentstehungsgebieten in diesem Forschungsprojekt auch aus dem Blickwinkel der Regionalplanung von besonderer Bedeutung.

7.1.1.2 Bauleitplanung

7.1.1.2.1 Zielsetzung

Die Bauleitplanung dient der Gestaltung der Entwicklung einer Kommune. Sie ist die konkretste Ebene der Raumplanung und untergliedert in die Flächennutzungsplanung, die sich auf das gesamte Gemeindegebiet bezieht, und die Bebauungsplanung für Teile der Gemeinde. Sowohl die Flächennutzungs- als auch die Bebauungsplanung sollen nach § 1 Abs. 5 Satz 1 des Baugesetzbuches (BauGB) „eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung und eine dem Wohl der Allgemeinheit entsprechende sozialgerechte Bodennutzung gewährleisten und dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln“. Sie hat u.a. „die Belange des Umweltschutzes, des Naturschutzes und der Landschaftspflege, insbesondere des Naturhaushaltes, des Wassers, der Luft und des Bodens (...)“ (§ 1 Abs. 5 Nr. 7 BauGB) zu berücksichtigen und ist einer sparsamen und schonenden Inanspruchnahme von Boden verpflichtet (§ 1a Abs. 1 BauGB).

Die Bauleitplanung wird in eigener Planungshoheit der Gemeinden aufgestellt, hat jedoch übergeordnete Belange, die die Raum- und Landesplanung festsetzt, sowie fachplanerische Belange zu berücksichtigen bzw. zu beachten. Da die Bauleitplanung und innerhalb derer insbesondere die Bebauungsplanung sehr detaillierte Festsetzungen treffen kann, bietet sie umfassende Möglichkeiten, dezentrale Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes voranzubringen.

7.1.1.2.2 Instrumentarium

Vorbereitende Bauleitplanung - Flächennutzungsplan

Flächennutzungspläne werden von der Kommune für das gesamte Gemeindegebiet in der Regel im Maßstab 1:10.000 aufgestellt und regeln für einen mittelfristigen Zeitraum die Entwicklung der Gemeinde. Da Flächennutzungspläne flächendeckende Entwicklungsziele festsetzen, werden auch Freiflächen wie Wald oder landwirtschaftliche Flächen dabei berücksichtigt. § 5 Abs. 2 BauGB legt mögliche Inhalte des Flächennutzungsplans fest. Bezüglich des vorbeugenden Hochwasserschutzes sind folgende Möglichkeiten von Relevanz:

1. die für die Bebauung vorgesehenen Flächen nach der allgemeinen Art der baulichen Nutzung (Bauflächen), nach der besonderen Art der baulichen Nutzung (Baugebiete) sowie nach dem allgemeinen Maß der baulichen Nutzung. Bauflächen, für die eine zentrale Abwasserbeseitigung nicht vorgesehen ist, sind zu kennzeichnen.
4. die Flächen für Versorgungsanlagen, für die Abfallentsorgung und Abwasserbeseitigung
5. die Grünflächen, Parkanlagen, Dauerkleingärten
9. Flächen für Land- und Forstwirtschaft
10. Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft

Die genannten Festsetzungen bieten damit in erster Linie die Möglichkeit, Flächennutzungen zu verorten und die Flächenausdehnung der Nutzungen über Art und Maß der baulichen

Nutzung zu begrenzen. Auf diese Weise können für den Hochwasserschutz wertvolle Freiflächen erhalten bleiben. Von Bedeutung sind ebenfalls die Möglichkeit, Flächen für die Abwasserbeseitigung darzustellen bzw. Bauflächen mit dezentraler Abwasserbeseitigung vorzusehen. Dies beinhaltet sowohl zentrale als auch dezentrale Regen- und Schmutzwasserbeseitigungsanlagen. Nicht zuletzt können über die Festsetzung von Flächen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft landschaftspflegerische Maßnahmen planerisch vorbereitet werden. Über diese recht grobmaßstäbigen Festsetzungen hinaus sind konkrete Festsetzungen zu der genaueren Gestaltung von Nutzungen im Flächennutzungsplan nicht möglich.

Verbindliche Bauleitplanung - Bebauungsplan

Bauleitpläne werden aufgestellt, sofern es für die städtebauliche Entwicklung des Gebietes geboten ist, sie sind also regelmäßig bei der geplanten Bebauung größerer Gebiete erforderlich.² Sie erstrecken sich also in der Regel nur auf Siedlungsgebiete, weshalb die Möglichkeiten der Freiraumgestaltung in Bebauungsplan gering sind. Jedoch bietet die Bebauungsplanung gegenüber der Flächennutzungsplanung sehr viel weit gehendere Möglichkeiten, auch qualitativ Einfluss auf die Gestaltung des Plangebietes zu nehmen. Nach § 9 BauGB können in Bebauungsplänen festgelegt werden:

1. die Art und das Maß der baulichen Nutzung
2. die Bauweise, die überbaubaren und die nicht überbaubaren Grundstücksflächen (...)
3. für die Größe, Breite und Tiefe der Baugrundstücke Mindestmaße und aus Gründen des sparsamen und schonenden Umgangs mit Grund und Boden für Wohnbaugrundstücke auch Höchstmaße
9. der besondere Nutzungszweck von Flächen
10. die Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, und ihre Nutzung
14. die Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser (...)
15. die öffentlichen und privaten Grünflächen (...)
16. die Wasserflächen sowie die Flächen für die Wasserwirtschaft, für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses
18. die Flächen für die Landwirtschaft und Wald
20. die Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft
25. für einzelne Flächen oder für ein Bebauungsplangebiet oder Teile davon sowie für Teile baulicher Anlagen mit Ausnahme der für landwirtschaftliche Nutzung oder Wald festgesetzten Flächen a) das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern oder sonstigen Bepflanzungen, b) Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern oder sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern.

Die Aufzählung macht deutlich, wie vielfältig die Festsetzungsmöglichkeiten sind. Hervorzuheben sind insbesondere die Festsetzung von Versickerungsanlagen nach Nr. 14 sowie Festsetzungen bezüglich der Durchgrünung der Siedlungsflächen über Nr. 20 und 25.

² Einzelne Bauvorhaben in im Zusammenhang bebauter Ortsteile sowie im Außenbereich sind auch ohne Bauleitplan möglich.

Die Bebauungsplanung bietet insgesamt zum einen die Möglichkeit, Einfluss auf die Gestaltung von Privatflächen (Versiegelungsgrad, Versickerungsflächen, Begrünung) zu nehmen, andererseits bietet sie der Gemeinde bei der Erstellung der Infrastruktur (Straßenräume, Parkplatzanlagen, öffentliche Grünflächen, Bepflanzungen zentrale Versickerungsanlagen) ebenfalls zahlreiche Gestaltungsmöglichkeiten.

Umsetzungsinstrument Besonderes Städtebaurecht

Neben dem allgemeinen Städtebaurecht, das die genannten Instrumente beinhaltet, können auch über das besondere Städtebaurecht dezentrale Maßnahmen des Hochwasserschutzes gerade in bereits bebauten Gebieten umgesetzt werden:

Das Rückbau- und Entsiegelungsgebot nach § 179 BauGB legt dem Eigentümer eines Grundstücks eine Duldungspflicht auf, wenn die Gemeinde nicht mehr genutzte bauliche Anlagen beseitigt und die Leistungsfähigkeit des Bodens wieder herstellt. Aufgrund der hohen Kosten, die sowohl für die Entsiegelungsmaßnahme selbst oder auch für eine Entschädigung der Nutzungsberechtigten anfallen, wird diese Möglichkeit in der Praxis selten angewandt.

In städtebaulichen Sanierungsgebieten können über eine umfangreiche Umgestaltung des Baugebietes nachträglich Verbesserungen des dezentralen Rückhaltes von Niederschlagswasser erreicht werden. So sind beispielsweise eine nachträgliche Entkernung von Blockrandbebauungen oder die Anlage von straßenbegleitenden Bäumen und Parks denkbare Maßnahmen. Voraussetzung für derartige Maßnahmen ist entweder ein mangelhafter Zustand Bausubstanz (z.B. Belichtung, Belüftung) oder eine Funktionsschwäche des Sanierungsgebietes (z.B. fehlende Grünflächen).

7.1.1.2.3 Fazit: Hochwasserschutz in der Bauleitplanung

Die Bauleitplanung bietet insbesondere in Siedlungsgebieten umfangreiche Möglichkeiten, den dezentralen Hochwasserschutz voranzubringen. Dies bezieht sich in erster Linie auf Maßnahmen wie die Minimierung des Versiegelungsgrades, die Versickerung von Niederschlagswasser über besondere Anlagen sowie auf die Begrünung der Baugebiete. Die Bebauungsplanung ist für jedermann verbindlich, so dass diese im Gegensatz zu vielen anderen der hier diskutierten Instrumente Einfluss auf private Akteure nehmen kann. Durch die Schaffung der Infrastruktur in Baugebieten kann die Gemeinde auch selbst für die Umsetzung dezentraler Maßnahmen des Hochwasserschutzes aktiv werden. Das besondere Städtebaurecht bietet gerade im Bestand einige Möglichkeiten einer nachträglichen Verbesserung des Regenrückhaltevermögens.

7.1.1.3 Wasserwirtschaft

7.1.1.3.1 Zielsetzungen

Grundlage der Wasserwirtschaft in Deutschland ist das Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG), das auch den Rahmen für die Landeswassergesetze setzt. Das WHG wurde in der derzeit gültigen Fassung 1996 erlassen und seitdem als Folge von Gesetzesänderungen in anderen Bereichen mehrfach geändert. Aktuell ist eine umfassende Novellierung des WHG (E-WHG) in der parlamentarischen Diskussion, die aufgrund der Anforderungen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) notwendig wurde. Die für den vorbeugenden Hochwasserschutz, wie er in diesem Projekt thematisiert wird, relevanten Festsetzungen des WHG sowie die wesentlichen im Entwurf geplanten Änderungen gegenüber der geltenden Fassung werden im Folgenden dargestellt.

Als zentrale Zielsetzung liegt das Wasserhaushaltsgesetz in § 1a Abs. 1 fest:

„Die Gewässer sind als Bestandteil des Naturhaushalts und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu sichern. Sie sind so zu bewirtschaften, daß sie dem Wohl der Allgemeinheit und im Einklang mit ihm auch dem Nutzen einzelner dienen und vermeidbare Beeinträchtigungen ihrer ökologischen Funktionen unterbleiben.“

Im Entwurf wird ergänzend klargestellt, dass insgesamt eine nachhaltige Entwicklung gewährleistet werden muss. Die Zielsetzung ist relativ allgemein gehalten, es werden keine Einzelaspekte der Wasserwirtschaft angesprochen. Der Hochwasserschutz ist jedoch implizit in der Begrifflichkeit des Wohls der Allgemeinheit enthalten.

In Ergänzung zu dieser allgemeinen Zielsetzung, die sich in erster Linie an öffentliche Stellen richtet, wird in Absatz 2 des § 1a auch eine allgemeine Verhaltenspflicht für Private begründet, nach der jedermann verpflichtet ist, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden. Dabei ist bemerkenswert, dass die Beschleunigung des Wasserabflusses als negative Einwirkung explizit erwähnt wird.

Eine weitere Konkretisierung der Zielsetzung erfolgt nach der grundsätzlichen Systematik des Wasserhaushaltsgesetzes in den Bereichen Oberirdische Gewässer, Küstengewässer und Grundwasser. Für die hier untersuchte Thematik des Hochwasserschutzes sind nur die Bereiche Oberirdische Gewässer und Grundwasser von Bedeutung. Das geltende Wasserhaushaltsgesetz legt in diesen Bereichen bereits einige Anforderungen fest, jedoch formuliert erst der Entwurf des neuen Wasserhaushaltsgesetzes konkretere Bewirtschaftungsziele. Beim Oberflächenwasser zielen diese auf den ökologischen und den chemischen Zustand des Gewässers ab. Der Hochwasserschutz in Form des mengenmäßigen Zustandes wird nicht aufgeführt. Demgegenüber wird der mengenmäßige Zustand beim Grundwasser als Bewirtschaftungsziel durchaus genannt.

Die Bewirtschaftungsziele sind angelehnt an die Vorgaben der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie, deren Hauptanliegen in der Verbesserung der Gewässergüte besteht. Obwohl der Hochwasserschutz als ein Ziel der Richtlinie in Artikel 1 Nr. e) genannt wird, wird er in den folgenden Artikeln der Richtlinie nicht weiter konkretisiert und operationalisiert. Das Fehlen von Wassermengenwirtschaftlichen Aspekten ist ein zentraler Kritikpunkt an der Wasserrahmenrichtlinie (vgl. Irmer, Markard, Rechenberg 2000, 37).

7.1.1.3.2 Instrumente

Freistellung der Versickerung von Niederschlagswasser von der Erlaubnis- und Bewilligungspflicht

Grundsätzlich gilt die Versickerung von Niederschlagswasser, das auf versiegelten Flächen anfällt, als Einleitung von Abwasser in das Grundwasser und ist damit genehmigungsbedürftig. Diese Regelung wurde in den letzten Novellierungen im Sinne eines dezentralen Niederschlagsrückhalts modifiziert. In § 18a WHG ist ausdrücklich festgelegt, dass eine dem Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigende Abwasserbeseitigung auch durch dezentrale Anlagen gegeben sein kann. Dies entspricht der Regelung des § 33 Abs. 2 WHG, nach der den Ländern freigestellt wird, die schadlose Versickerung von Niederschlagswasser von der Erlaubnis- und Bewilligungspflicht freizustellen. Auf dieser Grundlage können entsprechende kommunale Satzungen erlassen werden. In diesem Zusammenhang soll auch auf eine Regelung des Abwasserabgabengesetzes hingewiesen werden. Nach § 7 AbwAG werden für das Einleiten von Niederschlagswasser in die Kanalisation pauschale Abgaben berechnet. Ausreichend hohe Abgaben für das Einleiten von Regenwasser in die Kanalisation können einen Anreiz für die Versickerung auf dem Grundstück darstellen.

Erlaubnispflicht für die Bodenentwässerung

§ 33 Abs. 1 des geltenden Wasserhaushaltsgesetzes legt fest, dass die gewöhnliche Bodenentwässerung landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzter Grundstücke keiner Erlaubnis oder Bewilligung bedarf. Der Entwurf des neuen Wasserhaushaltsgesetzes schränkt diese Freistellung insofern ein, als die Regelung nicht gilt, wenn von den Benutzungen signifikante Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu erwarten sind. Der Absatz 2 desselben Paragraphens enthält eine Regelungsermächtigung an die Länder, die die Erlaubnis- oder Bewilligungserfordernis wieder einsetzen können.

Wasserschutzgebiete

Wasserschutzgebiete nach § 19 WHG stellen ein Instrument dar, das auch für den vorbeugenden Hochwasserschutz eingesetzt werden kann. Sie werden in der Praxis in erster Linie eingesetzt, um vorhandene Grundwasserspeicher, die für die Trinkwasserversorgung benötigt werden, vor Verunreinigungen zu schützen. Das Gesetz ermöglicht jedoch auch die Festsetzung zur Anreicherung des Grundwassers und zur Verhinderung schädlichen Abfließens von Niederschlagswasser. In den Wasserschutzgebieten können den Zielen

entgegenstehende Handlungen verboten oder eingeschränkt werden. Wird die land- und forstwirtschaftliche Nutzung dabei eingeschränkt, sind entsprechende Ausgleichszahlungen zu leisten. In Wasserschutzgebieten können zwar im Einzelfall wichtige Festsetzungen getroffen werden, jedoch dürfte das Instrument für den großflächigen Rückhalt von Niederschlagswasser in der Fläche nur eine geringe Bedeutung haben.

7.1.1.3.3 Planungsinstrumente

Das geltende Wasserhaushaltsgesetz sieht als wesentliche planerische Instrumente den wasserwirtschaftlichen Rahmenplan und den Bewirtschaftungsplan vor. Der wasserwirtschaftliche Rahmenplan soll nach § 36 „für die Entwicklung der Lebens- und Wirtschaftsverhältnisse notwendigen wasserwirtschaftlichen Voraussetzungen [...] sichern“. Er wird großmaßstäbig für Flussgebiete oder Wirtschaftsräume bzw. Teile davon aufgestellt und beinhaltet u.a. auch die Erfordernisse des Hochwasserschutzes. Der wasserwirtschaftliche Bewirtschaftungsplan wird gewässerbezogen aufgestellt und beinhaltet in konkreterer Form als der Rahmenplan Merkmale, Nutzungen, Ziele und wasserwirtschaftliche Maßnahmen verschiedener Handlungsbereiche. Auch hier wird der Hochwasserschutz unter dem Stichwort „Abflussverhalten“ angesprochen. Diese Instrumente wurden jedoch in der Praxis nicht in erforderlichen Maße angewendet, wie dieses Zitat belegt:

„Der Stand der Bearbeitung der im Wasserhaushaltsgesetz vorgesehenen großräumigen Pläne, wasserwirtschaftlicher Rahmenplan und Bewirtschaftungsplan (...) ist weit hinter den Erwartungen zurückgeblieben“ (Jacobitz 1994, 274).

Der Entwurf des neuen Wasserhaushaltsgesetzes sieht entsprechend der Vorgaben der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie die Einführung zweier Planungsinstrumente vor, die die genannten geltenden Instrumente ersetzen sollen. Dies sind zum einen das Maßnahmenprogramm nach § 36 E-WHG sowie zum anderen der Bewirtschaftungsplan nach § 36b E-WHG. Beide werden für Flussgebietseinheiten aufgestellt, trennen sich also von dem alten Prinzip der verwaltungsgrenzenbezogenen Abgrenzung der Planungsräume. § 1b Abs. 2 E-WHG legt die dafür notwendige Koordinierung der Bewirtschaftungsziele und der Planerstellung auch über Staats- und EU-Grenzen hinweg fest. Der Bewirtschaftungsplan soll nach den Vorgaben des E-WHG eine Beschreibung der Merkmale der Flussgebietseinheit sowie die angestrebten Bewirtschaftungsziele und eine Zusammenfassung der nötigen Maßnahmen enthalten. Der Maßnahmenplan enthält darauf aufbauend eine detailliertere Maßnahmenkonzeption. Beide Planungsinstrumente sind nach der Konzeption der Wasserrahmenrichtlinie auf die Integration verschiedener Politikbereiche ausgerichtet und können damit auch Ansätze enthalten, die über den engeren Handlungsbereich der Wasserwirtschaft hinausgehen (s. Erwägungsgründe Abs. 9 und 16; Anhang IV Teil B WRRL).

Beide Instrumente sind im Gegensatz zu den gegenwärtigen Instrumenten wasserwirtschaftlicher Rahmenplan und Bewirtschaftungsplan nicht dem Hochwasserschutz verpflichtet. Dies liegt an der engen Anlehnung an die WRRL, die ebenfalls den Hochwasserschutz weitgehend unbeachtet lässt. Allerdings lässt der § 36b Abs. 3 die Option offen, den Bewirtschaftungsplan durch detaillierte Programme und Pläne für bestimmte

Sektoren und Aspekte der Gewässerbewirtschaftung ergänzt werden. Dabei ist sicherlich auch die Integration Hochwasserbezogener Konzepte denkbar.

7.1.1.3.4 Fazit: Hochwasserschutz in der Wasserwirtschaft

Das Wasserrecht bietet, obwohl der Hochwasserschutz ein zentraler wasserwirtschaftlicher Aspekt ist, nur wenige Ansätze zur Stärkung des vorbeugenden Hochwasserschutzes durch dezentrale Maßnahmen. Dies hängt damit zusammen, dass die Wasserwirtschaft beim Hochwasserschutz – im Gegensatz etwa zum Trinkwasserschutz – traditionell eher in engem Zusammenhang des Gewässers aktiv wird. In den letzten Jahren wurden einige bisher problematische Aspekte des Wasserhaushaltsgesetzes verbessert, so etwa die Aufhebung Erlaubnispflicht für Versickerungen oder die partielle Wiedereinführung der Erlaubnispflicht für die Bodenentwässerung. Die im Entwurf des Wasserhaushaltsgesetzes vorgesehenen Planungsinstrumente des Bewirtschaftungsplans und des Maßnahmenplans bieten die Möglichkeit, wasserwirtschaftliche Aspekte nun in umfassendem Maße anzugehen, wobei auch Aspekte inbegriffen sein können, die außerhalb des eigenen Handlungsbereichs der Wasserwirtschaft liegen. Gleichzeitig spielt der vorbeugende Hochwasserschutz bei der Konzeption dieser Planungsinstrumente jedoch weder in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie noch im Entwurf des Wasserhaushaltsgesetzes eine entscheidende Rolle. Die Möglichkeit, zusätzliche Aspekte wie den Hochwasserschutz in die Bewirtschaftungsplanung mit aufzunehmen, sollte in umfassender Weise genutzt werden.

7.1.1.4 Naturschutz

Der Naturschutz ist für die Realisierung dezentraler Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes in der Land- und Forstwirtschaft wohl die wichtigste Fachplanung. Die nachhaltige Sicherung und Gestaltung des Naturhaushaltes als grundlegende Zielsetzung des Naturschutzes bietet wesentliche Überschneidungspunkte mit dem vorbeugenden Hochwasserschutz. Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) sowie Landesgesetze zum Naturschutz bieten einige wertvolle Instrumente zur Umsetzung. Das zurzeit gültige Naturschutzgesetz des Bundes wurde 1987 aufgestellt und im Jahre 1998 zuletzt novelliert. Zurzeit diskutiert der Gesetzgeber über eine weitere, umfassende Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes, die einige Verbesserungen im Sinne des vorbeugenden Hochwasserschutzes beinhalten wird. Im Folgenden werden deshalb die wesentlichen Zielsetzungen und Instrumente, die für den vorbeugenden Hochwasserschutz, wie er in diesem Forschungsprojekt thematisiert wird, dargestellt.

7.1.1.4.1 Zielsetzungen des Naturschutzes

Die Ziele, denen sich der Naturschutz verpflichtet, sind im § 1 des Bundesnaturschutzgesetzes bzw. dem aktuellen Entwurf aufgeführt. Die im Text kursiv geschriebenen Passagen stellen die im Entwurf vorgesehenen Veränderungen gegenüber der aktuellen Fassung dar.

Natur und Landschaft sind auch in Verantwortung für die künftigen Generationen im besiedelten und unbesiedelten Bereich so zu schützen, zu pflegen, zu entwickeln und, soweit erforderlich, wiederherzustellen, dass

1. die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts,
2. die Regenerationsfähigkeit und nachhaltige Nutzungsfähigkeit der Naturgüter,
3. die Tier- und Pflanzenwelt einschließlich ihrer Lebensstätten und Lebensräume sowie
4. die Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie der Erholungswert von Natur und Landschaft
[...] auf Dauer gesichert sind.

Der vorbeugende Hochwasserschutz wird insbesondere durch die Zielsetzung der Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes berührt.

Die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege werden durch Grundsätze in § 2 des Bundesnaturschutzgesetzes konkretisiert. Der Entwurf sieht gegenüber dem geltenden Recht eine Erweiterung und Neustrukturierung vor. Die Veränderung inhaltlicher Schwerpunkte, die für den vorbeugenden Hochwasserschutz relevant sind, ist im Folgenden dargestellt.

Bundesnaturschutzgesetz in der Fassung vom 21.09.1998	Entwurf des Bundesnaturschutzgesetzes – Stand: Mai 2001
1. Die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts ist zu erhalten und zu verbessern; Beeinträchtigungen sind zu unterlassen oder auszugleichen.	1. Der Naturhaushalt ist in seinen räumlich abgrenzbaren Teile so zu sichern, dass die den Standort prägenden biologischen Funktionen, Stoff- und Energieflüsse sowie landschaftlichen Strukturen erhalten, entwickelt oder wiederhergestellt werden.
4. Boden ist zu erhalten; ein Verlust seiner natürlichen Fruchtbarkeit ist zu vermeiden. 9. Die Vegetation ist im Rahmen einer ordnungsgemäßen Nutzung zu sichern, dies gilt insbesondere für Wald, sonstige geschlossene Pflanzendecken und die Ufervegetation, unbebaute Flächen, deren Pflanzendecke beseitigt worden ist, sind standortgerecht zu begrünen.	3. Böden sind so zu erhalten, dass sie ihre Funktionen im Naturhaushalt erfüllen können. Natürliche oder von Natur aus geschlossene Pflanzendecken sowie die Ufervegetation sind zu sichern. Für nicht land- oder forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden, deren Pflanzendecke beseitigt worden ist, ist eine standortgerechte Vegetationsentwicklung zu ermöglichen. Bodenerosion ist zu vermeiden.
2. ... In besiedelten Bereichen sind Teile von Natur und Landschaft, auch begrünte Flächen und deren Bestände, in besonderem Maße zu schützen, zu pflegen und zu entwickeln.	10. Auch im besiedelten Bereich sind noch vorhandene Naturbestände, wie Wald, Hecken, Wegraine, Saumbiotope, Bachläufe, Weiher sowie sonstige ökologisch bedeutsame Kleinstrukturen zu erhalten und zu entwickeln.
2. Unbebaute Bereiche sind als Voraussetzung für die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts, die Nutzung der Naturgüter und für die Erholung in Natur und Landschaft insgesamt und auch im einzelnen in für ihre Funktionsfähigkeit genügender Größe zu erhalten. ...	11. Unbebaute Bereiche sind wegen ihrer Bedeutung für den Naturhaushalt und für die Erholung insgesamt und auch im Einzelnen in der dafür erforderlichen Größe und Beschaffenheit zu erhalten. Nicht mehr benötigte versiegelte Flächen sind zu renaturieren oder, soweit eine Entsiegelung nicht möglich oder nicht zumutbar ist, der natürlichen Entwicklung zu überlassen.
	15. Das allgemeine Verständnis für die Ziele und Aufgaben des Naturschutzes und der Landschaftspflege ist mit geeigneten Mitteln zu fördern. Bei Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege ist ein frühzeitiger Informationsaustausch mit Betroffenen und der interessierten Öffentlichkeit zu gewährleisten.

Tabelle 19: Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege gemäß § 2 des Bundesnaturschutzgesetzes bzw. des Entwurfs des Bundesnaturschutzgesetzes

Die aufgeführten Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege tangieren einige wesentliche, für den vorbeugenden Hochwasserschutz relevanten Sachbereiche wie etwa den generellen Erhalt der Infiltrationsfähigkeit von Böden, die Verminderung der Versiegelung oder den Erhalt von Strukturelementen in der Landschaft. Die Gegenüberstellung der Grundsätze der aktuellen Fassung und des Entwurfes des BNatSchG macht deutlich, dass in einigen Punkten eine Stärkung des Naturschutzgedankens eintreten soll.

- So betont der Entwurf die Wiederherstellung beeinträchtigter Funktionen als Zielsetzung, die beispielsweise in der Entsiegelung auch für den Hochwasserschutz Bedeutung erlangt.

- Auch ist erstmalig die umweltbezogene Bewusstseinsbildung in Nr. 15 als Grundsatz aufgenommen. Dies kann gerade bei der großflächigen Umstellung der Landwirtschaft auf konservierende Bodenbearbeitung von großer Bedeutung sein.
- Ergänzt wurde auch der thematische Bereich des Bodenschutzes. Hier ist der Funktionsbegriff des Entwurfes wesentlich umfassender als im geltenden Gesetz, das lediglich einen Hinweis auf die Fruchtbarkeit enthält. Auf die Verhinderung von Bodenerosion wird explizit hingewiesen. Der BUND hält eine weitere Vertiefung dieses Grundsatzes durch die Aufnahme der Aspekte Aufbau, Struktur, Bodenwasserhaushalt, Bodenverdichtung und Bodenvegetation für notwendig (vgl. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. 2001a, 5).

Anzumerken ist dabei, dass nur solche Grundsätze in das Bundesnaturschutz aufgenommen sind, die aus länderübergreifender Sicht zur Herstellung eines Mindestmaßes an naturschutzfachlicher Übereinstimmung geboten sind. Sie sind auf eine Konkretisierung und – auf Länderebene – auch Erweiterung ausgelegt, wobei regionspezifische Besonderheiten mit einzubeziehen sind (s. Begründung zum E-BNatSchG, zu § 5 Abs. 3 bis 5, S. 60).

Das Gesetz richtet in erster Linie an die öffentliche Verwaltung. Die Umsetzung der Inhalte des Gesetzes obliegt den zuständigen Behörden des Naturschutzes und der Landschaftspflege auf den verschiedenen Ebenen. Andere Behörden haben im Rahmen ihrer Zuständigkeit die Zielsetzungen des Gesetzes zu unterstützen und bei eigenen Planungen und Maßnahmen Stellungnahmen der Naturschutzbehörden einzuholen. Nach geplantem Recht bezieht sich diese Verpflichtung sowie zahlreiche sonstige Regelungen des Gesetzes – darunter auch die Ziele und Grundsätze – unmittelbar nur auf die Bundesbehörden; für andere Behörden auf untergeordneter Ebene haben die Länder entsprechende Regelungen zu treffen.

Wie auch bisher schon in einigen Landesnaturschutzgesetzen enthalten, sieht der Entwurf des neuen Bundesnaturschutzgesetzes in § 4 nun auch eine Aufforderung an Private vor, sich für die Verwirklichung der Ziele und Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege einzusetzen: „Jeder soll nach seinen Möglichkeiten zur Verwirklichung der Ziele und Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege beitragen und sich so verhalten, dass Natur und Landschaft nicht mehr als nach den Umständen unvermeidbar beeinträchtigt werden.“ Eine solche Verhaltenspflicht, die in ähnlicher Form auch in anderen Gesetzen wie etwa dem Bundesbodenschutzgesetz oder dem Wasserhaushaltsgesetz enthalten ist, ist jedoch gegenüber Privatpersonen rechtlich nicht durchsetzbar und ahnbar und hat deshalb eher appellativen Charakter. Jedoch kann der Regelung auch bei der Auslegung anderer Vorschriften oder der Sozialpflichtigkeit des Eigentums Bedeutung zukommen.

7.1.1.4.2 Planungsinstrumente

Die Landschaftsplanung operiert mit verschiedenen Planungsinstrumenten, in denen die Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege nun flächendeckend darzustellen sind. Auf Landes- bzw. regionaler Ebene sind dies das

Landschaftsprogramm und die Landschaftsrahmenpläne, auf lokaler Ebene sind dies Landschaftspläne. Während das geltende Recht lediglich für die Landschaftspläne Inhalte vorschlägt, sind im § 14 Abs. 1 des E-BNatSchG Mindestinhalte aller drei Planungsinstrumente vorgegeben. Die Pläne sollen zunächst eine Bestandsanalyse und eine Status-quo-Prognose enthalten. Durch die Gegenüberstellung von konkretisierten Zielen und Grundsätzen des Naturschutzes und der Landschaftspflege werden Mängel und Konflikte des gegenwärtigen Naturzustands und der Entwicklung deutlich. Dies mündet in einer Darstellung der notwendigen Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes. Im Kontext des vorbeugenden Hochwasserschutzes ist dabei erwähnenswert, dass Maßnahmen zum Schutz und zur Verbesserung der Qualität und zur Regeneration von Böden im Gesetzestext explizit aufgeführt sind (s. E-BNatSchG § 14 Abs. 1 Nr. e). Die Landschaftsplanung ist im Entwurf des neuen Bundesnaturschutzgesetzes gegenüber der geltenden Regelung insgesamt zu einem inhaltlich sehr viel umfassenderen Planungsinstrument weiterentwickelt.

Die Inhalte der Landschaftsplanung sind von den Naturschutzbehörden umzusetzen. Abs. 2 des § 14 E-BNatSchG gewährleistet, dass die Landschaftsplanung auch dort, wo sie den Handlungsbereich anderer Planungen und Verwaltungsverfahren tangiert, Berücksichtigung findet. Hier greift zusätzlich zur Berücksichtigungspflicht des Absatzes 2 die Unterstützungspflicht nach § 6 E-BNatSchG. Darüber hinaus bestimmen die Länder die Verbindlichkeit der Planungsinstrumente.

7.1.1.4.3 Umsetzungsinstrumente

Eingriffsregelung

Die Eingriffsregelung nach § 8 f. des geltenden BNatSchG bzw. nach § 19 bis 21 E-BNatSchG ist eines der wichtigsten Instrumente des flächenhaften Naturschutzes. Sofern unvermeidbare Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft durch bestimmte Maßnahmen erfolgen, ist der Verursacher verpflichtet, die Beeinträchtigungen gleichartig auszugleichen oder – nach neuem Recht – zumindest gleichwertig zu kompensieren. Unter Berücksichtigung der Durchführbarkeit der Naturalkompensation wird unter Abwägung entschieden, ob und unter welchen Bedingungen der Eingriff zulässig ist.³ Für den vorbeugenden Hochwasserschutz, wie er in diesem Forschungsprojekt thematisiert wird, sind insbesondere Versiegelungsmaßnahmen als Beeinträchtigung der Infiltrationsfähigkeit von Böden von Bedeutung. Seit Einführung des Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetzes 1993 wird über die Anwendung der Eingriffsregelung bei Siedlungsvorhaben vom Träger der Bauleitplanung in der Abwägung entschieden.⁴ Sofern dieser andere Belange als vorrangig betrachtet, können Ausgleich und Ersatz entfallen. Da die Bodenversiegelung durch Bebauung ein sehr wesentliches und großflächiges Problem darstellt, bedeutet diese

³ Der BUND und der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen kritisieren in ihren Stellungnahmen verschiedene Aspekte dieser Regelung, die jedoch im Rahmen dieses Berichtes nicht weiter ausgeführt werden können (vgl. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. 2001a, 12 sowie 2001b, 8; Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 2001).

⁴ Dies gilt gemäß § 8a BNatSchG bzw. wortgleich gemäß § 21 E-BNatSchG.

Regelung eine starke Einschränkung der Wirksamkeit der Eingriffsregelung. Eingriffsbezogene Regelungen zur Landwirtschaft werden weiter unten thematisiert.

Schutzkategorien

Die Paragraphen 22 bis 29 des Entwurfs des Bundesnaturschutzgesetzes legen eine Reihe von Schutzkategorien fest, mit denen wertvolle Teile von Natur und Landschaft unter Schutz gestellt werden können. Dies sind als flächenhafte Schutzkategorien das Naturschutzgebiet, der Nationalpark, das Biosphärenreservat, das Landschaftsschutzgebiet oder der Naturpark. Daneben können Naturdenkmale oder geschützte Landschaftsbestandteile als Einzelobjekte unter Schutz gestellt werden. Die Schutzkategorien dienen verschiedenen Zielen und haben unterschiedliche Schutzwirkungen. In den Schutzgebieten kann die Nutzung insbesondere durch die Landwirtschaft durch Verordnungen naturverträglich gestaltet werden.

Neben diesen im Einzelfall zu bestimmenden Schutzobjekten sind bestimmte Biotope nach § 30 E-BNatSchG auch von Rechts wegen geschützt. Dazu gehören insbesondere auch einige gewässerbezogene Bereiche wie Nasswiesen und naturnahe Flussläufe. Darüber hinaus dürfte diese Regelung für den vorbeugenden Hochwasserschutz jedoch von untergeordneter Bedeutung sein.

Vertragsnaturschutz

Ein wichtiges Instrument, das bereits seit 1998 im Naturschutzgesetz verankert ist, sind vertragliche Vereinbarungen zur Umsetzung der Zielsetzungen des Naturschutzes und der Landschaftspflege. Demnach ist zu prüfen, inwiefern der Zweck von Rechtsvorschriften auch durch eine freiwillige Kooperation zwischen der Naturschutzbehörde und Privaten, insbesondere der Landwirtschaft, ohne Gefährdung des Ziels und ohne zeitliche Verzögerung erreicht werden kann. Der neue § 8 entspricht dem alten § 3a fast vollständig, ergänzt diesen lediglich um den Hinweis, dass die hoheitlichen und ordnungsrechtlichen Befugnisse der Naturschutzbehörde nicht geschmälert werden.

Nutzungsbeschränkungen

Werden Landwirten Nutzungsbeschränkungen auferlegt, die über die Anforderungen der – bisher in anderen Gesetzen definierten – guten fachlichen Praxis hinaus gehen, sind diese nach zurzeit geltendem Recht nach § 3b BNatSchG ausgleichspflichtig. Der Entwurf des neuen BNatSchG ändert diese Regelung dahingehend, dass nach § 5 Abs. 2 nun die Länder Vorschriften über den Ausgleich von Nutzungsbeschränkungen erlassen müssen. Damit bleibt den Ländern ein großer Gestaltungsspielraum, der zwischen einer reinen Härtefallregelung und einem umfassenden Ausgleich von Bewirtschaftungsnachteilen liegen muss. Diese im Entwurf vorgesehene Regelung gehört zu den in der Fachwelt stark diskutierten Neuerungen. So befürchtet beispielsweise der Deutsche Verband für Landschaftspflege, dass bei einem Verzicht auf Ausgleichszahlungen in Schutzgebieten zum einen ein Akzeptanzproblem entstehen könnte und dass zum anderen die entsprechenden Schutzgebietsverordnungen

weniger scharf formuliert werden, um die Landwirtschaft in den Gebieten nicht zu sehr zu benachteiligen (Deutscher Verband für Landschaftspflege e.V. 2001, zu § 5 Abs. 2). Demgegenüber begrüßt der BUND die neue Regelung (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. 2001, S. 7).

Definition der guten fachlichen Praxis der Landwirtschaft

Das geltende Bundesnaturschutzgesetz hat gegenüber der Landwirtschaft eine Goodwillerklärung abgegeben, die in den letzten Jahren zunehmend in die Kritik geraten ist. So heißt es in § 1 Abs. 3 BNatSchG:

„Der ordnungsgemäßen Land- und Forstwirtschaft kommt für die Erhaltung der Kultur- und Erholungslandschaft eine zentrale Bedeutung zu; sie dient in der Regel den Zielen dieses Gesetzes.“

Zwar ist diese Formulierung bereits im geltenden Recht kein Freibrief für eine intensive, die natürlichen Ressourcen zerstörende Landwirtschaft, die Landschaftsplanung hat jedoch mit dieser Formulierung nicht verhindern können, dass in der Praxis die Landwirtschaft sehr wohl zu einer nachhaltigen Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes beigetragen hat.

Um der in den letzten Jahrzehnten zunehmenden Beeinträchtigung der Umwelt durch die Landwirtschaft Einhalt zu gebieten, sieht der Entwurf des Bundesnaturschutzgesetzes umfassende Regelungen zu diesem Sachverhalt vor. In § 5 Absatz 3 E-BNatSchG sind wesentliche Grundsätze einer guten fachlichen Praxis der Landwirtschaft als Ergänzung zu den Anforderungen anderer Rechtsbereiche⁵ aus Sicht des Naturschutzes formuliert.

„Bei der landwirtschaftlichen Nutzung muss die Bewirtschaftung standortangepasst erfolgen. Im diesem Rahmen

1. sind vermeidbare Beeinträchtigungen von auf der Betriebsfläche vorhandenen und an diese angrenzenden Biotopen zu unterlassen,
2. sind die zur Vernetzung von Biotopen erforderlichen linearen und punktförmigen Elemente (Saumstrukturen, insbesondere Hecken und Feldraine sowie Trittsteinbiotope) in ausreichender Dichte zu erhalten sowie neu einrichten (...)
3. sind die Bewirtschaftungsverfahren zu wählen, bei denen die natürliche Ausstattung der Nutzfläche (Boden, Wasser, Tiere und Pflanzen) nicht über das zu Erzielung eines nachhaltigen Ertrages erforderliche Maß hinaus beeinträchtigt wird.
4. ist die natürliche Bodenfruchtbarkeit und langfristige Nutzbarkeit von Böden zu sichern, insbesondere dadurch, dass Bodenerosion und Bodenverdichtung soweit wie möglich vermieden und der standorttypische Humusgehalt erhalten wird,
5. ist auf erosionsgefährdeten Hängen, in Überschwemmungsgebieten, auf Standorten mit hohem Grundwasserstand sowie auf Moorstandorten ein Grünlandumbruch zu unterlassen.

...“

Diese Definition der guten fachlichen Praxis der Landwirtschaft im Naturschutzgesetz wird in der Fachöffentlichkeit insgesamt als positiv bewertet. Zum Teil wird jedoch noch Verbesserungs- und Ergänzungsbedarf gesehen. So verweist der Rat von Sachverständigen

⁵ Vgl. dazu insbesondere die Definition der guten fachlichen Praxis im Bundesbodenschutzgesetz.

für Umweltfragen (2001) in seiner Stellungnahme zum Gesetzentwurf darauf, dass auch diese Definition der guten fachlichen Praxis keine umweltschonende Landwirtschaft gewährleisten kann.

„Es besteht die Gefahr, dass die Definition der guten fachlichen Praxis im Bundesnaturschutzgesetz fast ebenso wirkungslos bleibt wie z.B. die allgemeinen und nicht sanktionierten Regelungen zur guten fachlichen Praxis im Bundesbodenschutzgesetz.“

Er empfiehlt deshalb, die Einhaltung der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft zu sanktionieren bzw. ein Zuwiderhandeln als Ordnungswidrigkeit zu ahnden. Ergänzend fordert er die Streichung der Landwirtschaftsklausel, die vorsieht, dass eine ordnungsgemäße, den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis entsprechende land- und forstwirtschaftliche Nutzung generell keinen Eingriff in Natur und Landschaft darstellt (s. § 8 Abs. 7 BNatSchG bzw. § 18 Abs. 2 und 3 E-BNatSchG).

Definition der guten fachlichen Praxis der Forstwirtschaft

§ 5 Abs. 4 des Entwurfs des Bundesnaturschutzgesetzes widmet sich der Forstwirtschaft. Es ist auffällig, dass die Inhalte wesentlich knapper sind als im Bereich der Landwirtschaft. Das Gesetz verweist auf die Vorschriften des Bundeswaldgesetzes sowie der entsprechenden Ländergesetzgebung. Daneben ist festgelegt, dass „naturnahe Wälder aufzubauen und diese ohne Kahlschläge nachhaltig zu bewirtschaften [sind]. Ein hinreichender Anteil standortheimischer Forstpflanzen ist einzuhalten.“ Verschiedene Institutionen wie etwa der BUND (2001) oder der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (2001) kritisieren in ihren Stellungnahmen zum Entwurf des Bundesnaturschutzgesetzes das Fehlen einer genaueren Definition der guten fachlichen Praxis der Forstwirtschaft. Der BUND (2001) macht dabei einen umfassenden Vorschlag für die Definition einer naturverträglichen Forstwirtschaft, der u.a. die Vermeidung von Entwässerung und Bodenverdichtung, den Einsatz schonender Betriebstechniken und die Wahrung der Stabilität und Regenerationsfähigkeit beinhaltet.

7.1.1.4.4 Fazit: Hochwasserschutz im Naturschutz

Die Umsetzung des vorbeugenden Hochwasserschutzes kann in sehr wesentlichen Teilen durch den Naturschutz erfolgen. Die planerischen Instrumente bieten eine gute Möglichkeit, flächendeckende konzeptionelle Aussagen zum Regenwasserrückhalt in der Fläche zu treffen. Siedlungswasserwirtschaftliche Aspekte werden dagegen weniger tangiert. Auch bieten sich die Instrumente des Naturschutzes und der Landschaftspflege an, um die Zielsetzungen des Hochwasserschutzes in die Realität umzusetzen. Die geplante Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes bringt voraussichtlich wesentliche Verbesserungen auch im Bereich des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Insbesondere die Formulierung der guten fachlichen Praxis der Landwirtschaft ist hier von Bedeutung. Allerdings bleibt die Problematik des Vollzugsdefizits bestehen. Es bleibt eine politische Aufgabe, den Naturschutz mit genügend finanziellen Mitteln auszustatten, um die Zielsetzungen in eigener Verantwortung der Naturschutzbehörden sowie durch Instrumente wie etwa den Vertragsnaturschutz zu verwirklichen.

7.1.1.5 Bodenschutz

7.1.1.5.1 Zielsetzung

Der Bodenschutz war lange Zeit im Gegensatz zu vielen anderen Umweltmedien wie Wasser und Luft nicht gesetzlich geschützt. Erst das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), das 1998 nach langjähriger Diskussion verabschiedet wurde, hat hier erste rechtliche Handlungsansätze geschaffen. Die grundsätzliche Zielsetzung des Gesetzes ist in § 1 formuliert:

„Zweck des Gesetzes ist es, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Bei Einwirkungen auf den Boden sollen Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen (...) soweit wie möglich vermieden werden.“

Das BBodSchG definiert schädliche Bodenveränderungen in § 2 Abs. 3 als „Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit hervorzurufen.“

Das Gesetz dient in erster Linie dazu, die bis dahin weitgehend unregelte Altlastenproblematik gesetzlich in den Griff zu bekommen. Ein Großteil der Regelungen des Gesetzes und insbesondere des untergesetzlichen Regelwerks der Bodenschutzverordnung bezieht sich auf die Erkundung und Sanierung von Bodenverunreinigungen. Neben diesem Schwerpunkt beinhaltet das Gesetz auch einige Festsetzungen, die den Bodenschutz in weitergehendem Maße betreffen wie etwa die Bodenversiegelung oder Bodenerosion. Insgesamt bleibt der Regelungsbereich des Gesetzes sowohl hinsichtlich der Problembereiche als auch der Durchsetzungskraft der Regelungen stark eingeschränkt.

7.1.1.5.2 Instrumentarium

In § 4 sind Pflichten zur Gefahrenabwehr zusammengestellt. Dies beinhaltet zunächst auch die allgemeine Verpflichtung für jedermann, „sich so zu verhalten, daß schädliche Bodenveränderungen nicht hervorgerufen werden.“ Ergänzend dazu ist in § 7 die allgemeine Vorsorgepflicht für die Eigentümer und Nutzer eines Grundstücks festgeschrieben.

In § 5 wird mit der Entsiegelung von Flächen ein weiterer Problembereich des Bodenschutzes in Siedlungsgebieten angesprochen. Der Paragraph sieht vor, dass Grundstückseigentümer zu einer Entsiegelung verpflichtet werden können, sofern die Versiegelung im Widerspruch zu planungsrechtlichen Festsetzungen steht und soweit dies möglich und zumutbar ist.

Von besonderer Bedeutung ist die Tatsache, dass die Vorsorgepflicht für die landwirtschaftliche Nutzung in § 17 Abs. 2 durch die „gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft“ konkretisiert wird:

„Grundsätze der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung sind die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürliche Ressource. Zu den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis gehört insbesondere, daß

1. die Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Witterung grundsätzlich standortangepaßt zu erfolgen hat,
2. die Bodenstruktur erhalten oder verbessert wird,
3. Bodenverdichtungen, insbesondere unter Berücksichtigung der Bodenart, Bodenfeuchtigkeit und des von den zur landwirtschaftlichen Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendrucks soweit wie möglich vermieden werden,
4. Bodenabträge durch eine standortangepaßte Nutzung, insbesondere durch Berücksichtigung der Hangneigung, der Wasser- und Windverhältnisse sowie der Bodenbedeckung möglichst vermieden werden,
5. die naturbetonten Strukturelemente der Feldflur, insbesondere Hecken, Feldgehölze, Feldraine und Ackerterrassen, die zum Schutz des Bodens notwendig sind, erhalten werden,
6. die biologische Aktivität des Bodens durch entsprechende Fruchtfolgegestaltung erhalten oder gefördert werden und
7. der standorttypische Humusgehalt des Bodens, insbesondere durch eine ausreichende Zufuhr an organischer Substanz oder durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität, erhalten wird.“

Inhaltlich entsprechen die Regelungen den Forderungen des dezentralen Hochwasserschutzes in der Landwirtschaft.

Zur Umsetzung dieser Anforderungen an die Landwirtschaft fordert das Gesetz die nach Landesrecht zuständigen landwirtschaftlichen Beratungsstellen auf, die Inhalte der guten fachlichen Praxis zu vermitteln. Darüber hinaus besteht seitens der landwirtschaftlichen Behörden nach § 10 die Möglichkeit, Anordnungen zur Beschränkung der Bodennutzung sowie zur Bewirtschaftung der Böden zu geben. Sofern die Landwirtschaft nicht Verursacher der schädlichen Bodenveränderungen ist und die Anordnungen zu unzumutbaren wirtschaftlichen Nachteilen führt, besteht eine Entschädigungspflicht. Die Wirksamkeit dieser Regelungen hängt davon ab, wie der Begriff der schädlichen Bodenveränderungen im konkreten Fall ausgelegt wird. Es ist jedoch fraglich, inwiefern nicht nur schwerwiegende Bodenerosion, auf die das Gesetz explizit eingeht, sondern auch aus Sicht des Hochwasserschutzes bedeutsame Verdichtungen und Verschlämmung des Bodens als schädliche Bodenveränderungen angesehen werden, die entsprechende Eingriffe der Behörden rechtfertigen.

7.1.1.5.3 Fazit: Der Beitrag des Bodenschutzes zum Hochwasserschutz

Eine große Einschränkung der Wirkungsweise erfährt das Bodenschutzgesetz dadurch, dass es nach § 3 Abs. 1 nicht für Bereiche gilt, die durch andere Gesetze und Vorschriften geregelt sind. Dazu gehört z.B. das Düngemittel- und Pflanzenschutzrecht oder das Flurbereinigungsgesetz. Damit bleibt der Bodenschutz weiterhin stark in verschiedene Rechtsbereiche zersplittert. Kritisch ist insbesondere zu sehen, dass das Gesetz kaum verbindlichen Regelungen und Umsetzungsinstrumente enthält. Gerade im Bereich der landwirtschaftlichen Bodennutzung scheinen die Regelungen eher Aufforderungen seitens der Politik als gesetzliche Vorschriften darzustellen. Die Anordnung bestimmter

Bewirtschaftungsformen nach § 10 dürfte über den Einzelfall besonders schwer beeinträchtigter Böden kaum hinausgehen. Abgesehen von der Beratung und der eher seltenen Anordnung sind keine neuen Mechanismen oder Instrumente geschaffen, die für eine Umsetzung der Forderungen und insbesondere für den vorsorgenden Bodenschutz eingesetzt werden könnten.

7.1.1.6 Landwirtschaftspolitik

Die Landwirtschaft ist in Deutschland der größte Flächennutzer. Deshalb ist deren Beeinflussung von entscheidender Bedeutung für die Verwirklichung einer nachhaltigen Bodenbewirtschaftung, die insbesondere auf den Wasserrückhalt in der Fläche einen positiven Einfluss hat. Die Landwirtschaft ist gleichzeitig der einzige Bereich der hier angesprochenen Themenfelder, für den kein eigenständiges und zusammenhängendes Gesetzeswerk existiert. Einige Regelungen, die für die Landwirtschaft von Relevanz sind, werden in anderen Gesetzesbereichen getroffen und wurden in den voran gegangenen Kapiteln bereits angesprochen. Deshalb soll im Folgenden der Fokus auf den Bereich der Landwirtschaftspolitik gelegt werden, die besonders über finanzielle Anreizmechanismen großen Einfluss im Sinne einer naturverträglichen Landwirtschaft nehmen kann. Die Landwirtschaftspolitik ist in Deutschland zum einen von der nationalen Gesetzgebung, in nicht unerheblicher Weise aber auch von Vorgaben der Europäischen Union geprägt, so dass beide Ebenen angesprochen werden.

7.1.1.6.1 Die Landwirtschaftspolitik der Europäischen Union

Die Landwirtschaftspolitik der Europäischen Union hat sehr großen Einfluss auf die nationale Gesetzgebung in Deutschland. Zahlreiche europäische Verordnungen und Richtlinien wurden in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten in deutsches Recht umgesetzt. Für unsere Fragestellung der Niederschlagsretention sind zwei europäische Regelungswerke von besonderer Bedeutung, da sie Bereiche wie Extensivierung oder Strukturvielfalt der Landschaft thematisieren. Dies ist zum einen die 1999 von der Europäischen Union verabschiedete Agenda 2000 mit ihren Aussagen hinsichtlich der Gemeinsamen Agrarpolitik sowie die darauf Bezug nehmende Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums.

Gemeinsame Agrarpolitik – Agenda 2000

Die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union legt wesentliche Rahmenbedingungen, Zielsetzungen und Förderinstrumentarien fest, welche die Entwicklung der Landwirtschaft bzw. des ländlichen Raumes auch in Deutschland lenken. Mit dem Erlass der Agenda 2000 erhielt die GAP die letzte wesentliche Kurskorrektur, die bereits in früheren Novellierungen eingeleitet wurde. Insbesondere die Reform von 1992 lenkte die Agrarpolitik der Europäischen Union weg von einer einseitigen Marktorientierung hin zu einer integrierten Politik zur Entwicklung des ländlichen Raums. Dabei spielte die umweltgerechte Landwirtschaft eine bedeutende Rolle. Diese 1992 eingeleitete Reform ist mit der Agenda

2000 vertieft und weitergeführt worden. Neben der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Landwirtschaft auf den Weltmärkten nennt die Agenda 2000 als wesentliche Zielsetzungen der GAP nun auch die Lebensmittelsicherheit und –qualität und insbesondere die umweltverträgliche Bewirtschaftung. Sie macht deutlich, dass die Einbeziehung der Umweltziele in die Landwirtschaftspolitik durchaus als weitreichende Chance der Entwicklung der Landwirtschaft anzusehen ist.

„Die Gesellschaft wird sich zunehmend der Bedeutung der natürlichen Umwelt und der – so wohl positiven wie negativen – Auswirkungen der menschlichen Tätigkeit auf die Umwelt bewußt. Die ländlichen Gebiete sind in der einmaligen Lage, diesen Anliegen durch Erhaltung und Schaffung umweltgerechter Lebens-, Arbeits- und Freizeiträume Rechnung zu tragen. In diesem Zusammenhang findet der Begriff der finanziellen Verantwortung der Allgemeinheit für den Schutz der natürlichen Ressourcen und die Pflege der Landschaft immer breitere Akzeptanz und bietet der Land- und Forstwirtschaft als den wichtigsten Landnutzern neue Aufgaben und ungeahnte Möglichkeiten“ (Agenda 2000, 1. Teil, III.2.).

Die EU-Agrarpolitik operiert hauptsächlich mit Fördergeldern als Umsetzungsinstrument ihrer Zielsetzungen. Diese wurden bisher im Wesentlichen über die Preisstützung zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit sowie in Form produktionspezifischer Zahlungen gewährt. Mit dieser outputbezogenen Unterstützung der ehemaligen Förderbedingungen waren extensive, umweltfreundliche Produktionsverfahren gegenüber intensiven Methoden weniger attraktiv. Die Agenda 2001 sieht nun u.a. die folgenden Reformansätze vor:

- Wie schon in den letzten Reformen eingeleitet, soll die bisherige Preisstützungspolitik durch Direktzahlungen an die Landwirte ersetzt werden.
- Die Direktzahlungen sollen von der Einhaltung bestimmter Umweltauflagen abhängig gemacht werden.
- In besonders benachteiligten Gebieten sollen in erster Linie extensive, standortangepasste Anbaumethoden angewendet sowie die Mittel für den Umweltschutz aufgestockt werden.
- Zahlreiche Fördermaßnahmen sind nicht auf besonders förderbedürftige Gebiete beschränkt, sondern sind flächendeckend zu gewähren.

Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums

Die genannten Reformansätze sind in der ebenfalls 1999 verabschiedeten „Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums“ konkretisiert und umgesetzt. Die Verordnung legt fest, für welche Bereiche die Beihilfen für die Entwicklung des ländlichen Raums gewährt werden können, und trifft jeweils spezifische Regelungen für jeden einzelnen Förderbereich. Neben den betriebswirtschaftlich ausgerichteten Bereichen wie etwa Investitionen oder Berufsbildungsmaßnahmen gehören dazu insbesondere folgende Handlungsbereiche:

Maßnahmen in benachteiligten Gebieten und Gebieten mit umweltspezifischen Einschränkungen

Die Verordnung verfolgt das Ziel, in von der Natur benachteiligten Gebieten die landwirtschaftliche Bodennutzung aufrechtzuerhalten, damit die gewachsene Gesellschaftsstruktur im ländlichen Raum lebensfähig bleibt. Die finanziellen Beihilfen dienen dazu, die bestehenden Nachteile auszugleichen und liegen zwischen 25 und 200 Euro pro ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (s. Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums Artikel 13a sowie Anhang). Aufgrund der Erkenntnis, dass aus landwirtschaftlicher Sicht benachteiligte Gebiete ökologisch oft sehr wertvoll sind (s. Agenda 2000, 1. Teil, III.4. Umweltschutz in der Landwirtschaft), werden die Zahlungen davon abhängig gemacht, dass sich die Landwirte verpflichten, „mit den Erfordernissen des Umweltschutzes und der Erhaltung des ländlichen Lebensraums zu vereinbarende Produktionsverfahren der guten landwirtschaftlichen Praxis im üblichen Sinne an[zu]wenden, insbesondere nachhaltige Bewirtschaftungsformen“ (ebd. Artikel 14 Abs. 2).

In Gebieten mit umweltspezifischen Einschränkungen dienen die Ausgleichszahlungen der Wahrung der Umweltbelange bei gleichzeitiger Sicherung der weiten Bewirtschaftung des Gebietes. Kosten und Einkommensverluste, die durch eine Beschränkung der Bewirtschaftung aufgrund von Umweltschutzvorschriften begründet sind, werden mit maximal 200 Euro pro ha Nutzfläche ausgeglichen (s. ebd. Artikel 13b, Artikel 16 sowie Anhang).

Agrarumweltmaßnahmen

Umweltschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft, sogenannte Agrarumweltmaßnahmen, werden ebenfalls von der EU gefördert. Die Fördersätze liegen je nach Art der Maßnahmen zwischen 450 und 600 Euro pro ha. Die Beihilfen dienen dazu, Bewirtschaftungsformen zu fördern, die „mit dem Schutz und der Verbesserung der Umwelt, der Landschaft und ihrer Merkmale, der natürlichen Ressourcen, der Böden und der genetischen Vielfalt vereinbar“ sind. Dazu gehören insbesondere extensive Bewirtschaftungsformen sowie Weidewirtschaft geringer Intensität. Die Agrarumweltmaßnahmen müssen gemäß Absatz 2 des Artikel 23 über die gute fachliche Praxis im üblichen Sinn hinausgehen. Die Landwirte verpflichten sich dazu, die Maßnahmen mindestens fünf Jahre lang durchzuführen (s. ebd. Artikel 22-24 sowie Anhang).

Die Förderung der Anpassung und Entwicklung von ländlichen Gebieten

Unter dieser Überschrift sind eine ganze Reihe förderfähiger Maßnahmen aufgelistet, die entweder im Zusammenhang mit landwirtschaftlichen Tätigkeiten oder deren Umstellung stehen oder unter keinen anderen Förderbereich der Verordnung fallen. Dazu zählen im Zusammenhang dieses Projekt insbesondere die Bodenmelioration und die Flurbereinigung. Genauere Erläuterungen, unter welchen Bedingungen und mit welchen umweltschutzbezogenen Auflagen für diese Maßnahmen Beihilfen gewährt werden, fehlen. Gerade bei der Bodenmelioration wäre dies jedoch bedeutsam. Denn die Entwässerung von

Böden zum Zwecke einer intensiveren landwirtschaftlichen Bewirtschaftung ist aus Umweltgesichtspunkten häufig negativ zu bewerten, zumal die Verordnung selbst den Erhalt von Feuchtflächen als Agrarumweltmaßnahme fördert. Über die Höhe der möglichen Beihilfen wird im Anhang keine Auskunft gegeben (s. ebd. Artikel 33).

7.1.1.6.2 Die Landwirtschaftspolitik der Bundesrepublik Deutschland

Die Landwirtschaftspolitik der Bundesrepublik Deutschland hat zum einen die europarechtlichen Vorgaben aufgegriffen, zum anderen auch eigene rechtliche Schwerpunkte gesetzt. Regelungen bezüglich der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung sind in verschiedenen Rechtsbereichen zu finden. Dazu gehören beispielsweise Regelungen zum Umgang mit bestimmten Stoffen in der Bewirtschaftung, so z.B. im Düngemittelgesetz oder in der Klärschlammverordnung. Zum Teil werden Anforderungen an die Landwirtschaft auch in anderen thematischen Rechtsbereichen wie etwa dem Bundesbodenschutzgesetz oder dem Naturschutzrecht formuliert. Zwei Gesetze sollen hier jedoch genauer betrachtet werden, da sie Ansätze bieten, Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes zu verankern.

Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“

Im Gesetz über die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAKG) sind die Vorgaben der Europäischen Union zur Gemeinsamen Agrarpolitik umgesetzt. Bis Ende der 80er- Jahre war die Bund-Länder-Gemeinschaftsaufgabe stark auf die Eingliederung in den EG-Markt ausgerichtet. Mit der Novellierung des GAKG 1988 wurde der Umweltschutz als Ziel der Landwirtschaftspolitik verankert. Die allgemeinen Grundsätze nach § 2 Abs. 1 GAKG lauten nun:

„Die Erfüllung der Gemeinschaftsaufgabe dient dazu, eine leistungsfähige, auf künftige Anforderungen ausgerichtete Land- und Forstwirtschaft zu gewährleisten und ihre Wettbewerbsfähigkeit im Gemeinsamen Markt der Europäischen Gemeinschaft zu ermöglichen sowie den Küstenschutz zu verbessern. Dabei sind die Ziele und Erfordernisse der Raumordnung, Landesplanung sowie des Umweltschutzes und des Tierschutzes zu beachten.“

In § 1 des Gesetzes sind die förderfähigen Maßnahmen aufgelistet. Dies sind u.a.:

- Maßnahmen zur Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Land- und Forstwirtschaft,
- Maßnahmen zur Neuordnung ländlicher Grundbesitze und Gestaltung des ländlichen Raumes durch Maßnahmen zur Sicherung eines nachhaltig leistungsfähigen Naturhaushalts,
- wasserwirtschaftliche und kulturbautechnische Maßnahmen

Bis zur Verstärkung des Umweltschutzgedankens in der GAKG waren die geförderten Maßnahmen für den Umweltschutz häufig kontraproduktiv. So wurden – häufig in Verbindung mit der Flurneuordnung – beispielsweise Gewässer begradigt, Bodenentwässerungen durchgeführt und Strukturelemente der Landschaft aus betriebswirtschaftlichen Gründen

entfernt. Heute erfolgt auch eine Förderung umweltbezogener Maßnahmen wie etwa Erosionsschutzpflanzungen, Extensivierungen, Grünlandnutzung oder ökologische Anbauverfahren.

Bund und Länder legen für einen bestimmten Förderzeitraum räumliche und sachliche Schwerpunkte, Zielvorstellungen, Maßnahmen sowie den Finanzrahmen in einem Rahmenplan fest.

Planungsinstrument: Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung

Die in der Rahmenplanung festgesetzten Ziele und Maßnahmen werden gemäß § 3 Abs. 2 GAKG im Rahmen einer Vorplanung, der sogenannten Agrarstrukturellen Entwicklungsplanung (AEP) konkretisiert. Diese stellt die überörtliche Fachplanung der Land- und Forstwirtschaft dar. Sie geht entsprechend der Zielrichtung der Agenda 2000 sowie der Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums der EU in ihren Inhalten weit über die landwirtschaftliche Entwicklung im engen Sinn hinaus und beinhaltet in integrierter Weise auch Maßnahmen des Umweltschutzes, der Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung. Sie sollte insbesondere die Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege berücksichtigen, Maßnahmen zur Sicherung eines leistungsfähigen Naturhaushalts bestimmen und konkurrierende Nutzungsansprüche aufeinander abzustimmen sowie die Flächennutzung an der Empfindlichkeit und den Potenzialen des Naturhaushalts zu orientieren. Die AEP dient als Grundlage für die zielgerichtete Vergabe von Fördermitteln.

Flurbereinigungsgesetz

Die Flurbereinigung ist eine eigenständige Maßnahme auf der Grundlage des Flurbereinigungsgesetzes (FlurbG), sie wird jedoch aus Mitteln der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ gefördert. Ihr Zweck ist es gemäß § 1 FlurbG, durch die Neuordnung und Gestaltung landwirtschaftlicher Flächen zur „Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Land- und Forstwirtschaft sowie zur Förderung der allgemeinen Landeskultur und der Landentwicklung“ beizutragen. Der Begriff der „Landeskultur“ beinhaltet die optimale Gestaltung und nachhaltige Sicherung des Naturpotenzials, die „Landesentwicklung“ zielt auf die von der Raumordnung und Landesplanung zugewiesenen Funktionen (vgl. Hoisl 1995, 586).

Für die Flurbereinigung gilt das bereits bei der GAKG Gesagte: Die Flurbereinigung hat mit der Schaffung großer Schläge etc. in den letzten Jahrzehnten häufig negative Auswirkungen auf die Landschaftsstruktur gehabt. Solche Auswirkungen sollen heute verhindert werden, indem die Flurbereinigung in § 37 Abs. 2 und § 38 FlurbG zur Wahrung der Erfordernisse der Raumordnung, des Umweltschutzes, des Naturschutzes und der Landschaftspflege verpflichtet wird. Die Veränderung natürlicher Gewässer darf nach Absatz 3 § 37 ausdrücklich nur aus wasserwirtschaftlichen, nicht nur aus vermessungstechnischen, d.h. arbeitserleichternden Gründen erfolgen. Der von der Flurbereinigungsbehörde aufzustellende Wege- und Gewässerplan mit landschaftspflegerischen Begleitplan stellt die Grundlage für

die durchzuführenden landschaftspflegerischen, wasserwirtschaftlichen und bodenverbessernden Maßnahmen dar.

Die Finanzierung der Maßnahmen erfolgt auf unterschiedliche Art und Weise. Die Verfahrenskosten werden vom Land getragen. Die Ausführungskosten, d.h. Kosten für gemeinschaftliche Anlagen wie Wege und Gewässer sowie für landschaftspflegerische Maßnahmen tragen die Eigentümer als Teilnehmergeinschaft unter hoher staatlicher Bezuschussung etwa aus Mitteln der GAK.

Die Flurbereinigung wurde im landwirtschaftlichen Kontext in erster Linie für den besonderen Fall entwickelt, dass landwirtschaftlicher Besitz aus betriebswirtschaftlichen Gründen aufgrund von Zersplitterung oder ungünstiger Form und Verteilung der Flurstücke neu einzuteilen ist. Für diesen Sonderfall kann die Flurbereinigung dazu beitragen, dass die Neuordnung nicht mit einem Verlust für die Umwelt verbunden ist. So kann sie beispielsweise ökologisch wertvolle, betriebswirtschaftlich aber benachteiligte Bereiche wie Feuchtgebiete von der Bewirtschaftung freihalten oder die Bewahrung und Anpflanzung von Feldgehölzen fördern.

7.1.1.6.3 Fazit: Der Beitrag der Landwirtschaftspolitik zum Hochwasserschutz

Die Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union hat in den letzten Jahren eine Wende von einer starken Marktorientierung der landwirtschaftlichen Produktion hin zu einer integrierten Sichtweise der Funktion des ländlichen Raums vollzogen. Insbesondere die Agenda 2000 sowie die Verordnung zur Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums hat diese Umorientierung gefestigt. Dabei gewinnen umweltschutzbezogene Aspekte stark an Bedeutung. Die Förderinstrumente wurden so umgestaltet, dass zum einen die Förderung agrarwirtschaftlicher Maßnahmen von der Einhaltung von Umweltvorschriften abhängig gemacht wird, zum anderen die Mittelausstattung für Umweltschutzmaßnahmen selbst erheblich aufgestockt wurde. In welchem Umfang damit die landwirtschaftliche Bodennutzung in Deutschland tatsächlich nachhaltig gestaltet werden kann, ob die finanziellen Anreize ausreichen, die Landwirte zu einer extensiven Bewirtschaftung zu bewegen und inwiefern auch flächendeckend eine umweltgerechtere Bewirtschaftungsform durchgesetzt werden kann, ist derzeit noch nicht zu erkennen. Die Anstrengungen seitens der Europäischen Union gehen aber eindeutig in diese Richtung.

Auch auf nationaler Ebene hat sich die in der Europäischen Union nachzuvollziehende Trendwende weg von einer einseitigen Marktorientierung hin zu einer stärkeren Berücksichtigung des Umweltschutzes und der Gesamtentwicklung des ländlichen Raumes vollzogen. Einige zuvor kontraproduktive Regelungen wie die Entfernung von Strukturelementen der Landschaft bei einer Vergrößerung der Schläge im Rahmen der Flurbereinigung. Die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ sowie die Flurbereinigung wurden inhaltlich zugunsten des Umweltschutzes und einer nachhaltigen Bodenbewirtschaftung neu orientiert, die Förderinstrumente entsprechend angepasst. Die Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung ist als konkrete Planungsebene zur Umsetzung der GAK sehr bedeutsam für die Zielsetzungen des

vorbeugenden Hochwasserschutzes. Durch dieses Planungsinstrument können wesentliche Forderungen und Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes in die landwirtschaftsbezogene Entwicklung des Planungsgebietes eingebracht werden.

Jedoch ist festzuhalten, dass die neue Orientierung, die in den letzten Jahren auf europäischer sowie auf nationaler Ebene vollzogen wurde, nicht in der Lage war, die Probleme, die aus der Landwirtschaftspolitik der letzten Jahrzehnte entstanden sind, zu beheben. Immer noch ist die Infiltrationsfähigkeit auf einem Großteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche herabgesenkt. Die Zerstörung von Strukturelementen dürfte auf längere Zeit nicht in ausreichendem Maße wieder rückgängig gemacht werden können. Die intensive, nicht konservierende Bodenbearbeitung ist immer noch die gängige Bewirtschaftungsmethode in Deutschland. Die Anstrengungen zur Verbesserung der Umweltsituation in der Landwirtschaft und zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes in der Fläche müssen in Zukunft weiter verstärkt werden.

7.1.1.7 Forstwirtschaft

7.1.1.7.1 Zielsetzung

Der Rechtsbereich der Forstwirtschaft ist im Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz) geregelt. Nach § 1 ist der Zweck des Gesetzes:

„den Wald wegen seines wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner Bedeutung für die Umwelt, insbesondere für die dauernde Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, das Klima, den Wasserhaushalt, die Reinhaltung der Luft, die Bodenfruchtbarkeit, das Landschaftsbild, die Agrar- und Infrastruktur und die Erholung der Bevölkerung (Schutz- und Erholungsfunktion) zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern.“

Der Belang des Hochwasserschutzes ist zwar nicht explizit als Funktion des Waldes angesprochen, ist jedoch deutlich unter die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes und den Wasserhaushalt zu subsumieren. In § 6 Abs. 3 sind Grundsätze festgelegt, nach denen die Forstwirtschaft auszurichten ist und von denen einige für den vorbeugenden Hochwasserschutz von Bedeutung sind:

1. Wald ist nach seiner Fläche und räumlichen Verteilung so zu erhalten oder zu gestalten, daß er die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes möglichst günstig beeinflusst, dem Schutz vor natürlichen oder zivilisatorischen Gefahren dient und der Bevölkerung möglichst weitgehend für die Erholung zur Verfügung steht (...)
4. In Gebieten, in denen die Schutz- und Erholungsfunktion des Waldes von besonderem Gewicht ist, soll Wald für Schutz- oder Erholungszwecke (...) ausgewiesen werden.
5. Landwirtschaftliche Grenzertragsböden, Brachflächen oder Ödland sollten aufgeforstet werden, wenn dies wirtschaftlich und agrarstrukturell zweckmäßig ist und die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes verbessert wird“ (Bundeswaldgesetz § 6 Abs. 3).

Der Erhalt und der Schutz von Wald sind aus Sicht des vorbeugenden Hochwasserschutzes von großer Bedeutung. Grundsatz Nr. 1 spricht dabei ausdrücklich den Schutz vor natürlichen oder zivilisatorischen Gefahren als Funktion des Waldes an. Der Tatsache, dass unter

bestimmten Bedingungen wie bei extremer Hanglage oder bei vernässungsgefährdeten Böden über den Erhalt von Wald hinaus auch eine Aufforstung zu fordern ist, trägt der Grundsatz Nr. 5 keine Rechnung. Hier werden lediglich Flächen angeführt, die aus ökonomischen Gründen für eine landwirtschaftliche Nutzung nicht mehr in Frage kommen.

7.1.1.7.2 Instrumentarium

Planungsinstrument der Forstwirtschaft ist die forstliche Rahmenplanung. Sie wird je nach Landesrecht von den zuständigen Behörden für das Landesgebiet oder Teile davon aufgestellt. In einigen Bundesländern ist die forstliche Rahmenplanung in die Regionalplanung integriert, in jedem Fall werden aber raumbedeutsame Aspekte in der Regionalplanung berücksichtigt.

Entsprechend des vierten Grundsatzes kann Wald besonders unter Schutz gestellt werden, sofern bestimmte forstliche Maßnahmen durchzuführen bzw. zu unterlassen sind. Schutzwald dient gemäß § 12 Abs. 1 Bundeswaldgesetz u.a. dem Schutz vor Erosion durch Wasser und Wind und der Verhinderung schädlichen Abfließens von Niederschlagswasser. Damit ist die Bedeutung des Waldes für den vorbeugenden Hochwasserschutz direkt angesprochen.

Wald ist in Deutschland insgesamt relativ umfangreich geschützt. Neben den genannten Möglichkeiten zur Unterschutzstellung ist dies in erster Linie damit zu begründen, dass nach § 9 Abs. 1 Wald nur mit vorheriger Genehmigung der zuständigen Behörden gerodet oder umgewandelt werden darf. Diese Regelung führte dazu, dass in den letzten Jahrzehnten die Waldfläche im Gegensatz etwa zur landwirtschaftlichen Nutzfläche bundesweit nicht abgenommen hat.

Im Gegensatz zu diesem flächenbezogenen Schutz des Waldes ist die Bewirtschaftungsart in sehr viel geringerem Maße rechtlich geregelt. Das Gesetz legt in § 11 die ordnungsgemäße und nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes fest. Außer der Verpflichtung für Waldbesitzer, Kahlschläge oder Lichtungen aufzuforsten, wird diese Forderung nicht weiter konkretisiert. Es ist fraglich, inwieweit der ursprünglich aus der Forstwirtschaft stammende Begriff der Nachhaltigkeit hier noch zu verstehen ist als dauerhafte Sicherung der Waldproduktion und damit der Erträge, oder ob damit – wie in anderen Politikbereichen auch – bereits soziale und ökologische Aspekte inbegriffen sind. Die Begriffsdefinition der nachhaltigen Waldbewirtschaftung bleibt damit weit hinter der Konkretisierung der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft durch das BBodSchG zurück.

7.1.1.7.3 Fazit: Hochwasserschutz in der Forstwirtschaft

Wald unterliegt in seinem Flächenumfang einem umfassenden Schutz. Der Hochwasserschutz wird dabei nicht explizit als Schutzgrund erwähnt, ist aber unter dem Stichwort Wasserhaushalt impliziert. Der Gesetzgeber sieht unter bestimmten Bedingungen Aufforstungen vor, wasserwirtschaftlich relevante Aspekte werden dabei jedoch nicht genannt. Insgesamt kann die inhaltliche Konkretisierung einer nachhaltigen Bewirtschaftung des

Waldes den Ansprüchen eines vorbeugenden Hochwasserschutzes nicht gerecht werden. So fehlen beispielsweise jegliche Hinweise auf den Laubholzanteil die Verjüngung von Forsten oder die Vermeidung von Bodenverdichtungen durch forstwirtschaftliche Maschinen. Auf die Problematik des Waldsterbens und der damit einhergehenden Verringerung der Leistungsfähigkeit von Wäldern nimmt das Bundeswaldgesetz keinen Bezug; dieser Aspekt wird dem Immissionsschutz überlassen.

7.1.2 Hochwasserschutz in Polen und Tschechien

Da die Neiße ein Staatsgrenzen überschreitender Fluss mit erheblichen Teilen des Einzugsgebietes außerhalb Deutschlands ist, spielen die Regelungen Tschechiens und Polens eine bedeutende Rolle für den Hochwasserschutz der gesamten Neiße. Nach einem kurzen Einblick in die gegenwärtige hochwasserrelevante Umweltsituation der beiden Länder werden die wesentlichen Aspekte der Regelungen und Instrumente zum vorbeugenden Hochwasserschutz in diesen beiden Ländern dargestellt. Dabei kann die Darstellung der Rechtsinstrumentarien nicht den Detaillierungsgrad haben, der für die deutschen Rahmenbedingungen gewählt wurde. Zum einen befindet sich das Rechtssystem sowohl in Polen als auch in der Tschechischen Republik noch im Aufbau, zum anderen sind Informationen wie Gesetzestexte oder Kommentare in der deutschen Sprache zur schwer und im Rahmen dieses Projektes nicht mit angemessenem Aufwand erhältlich. Das Institut für ökologische Raumentwicklung in Dresden hat sich in mehreren Studien und Veröffentlichungen mit dem Deutschen, Tschechischen und Polnischen Recht beschäftigt. Eine Veröffentlichung thematisiert explizit auch den Hochwasserschutz in beiden Staaten (Brauweiler, Kramer 2000). Bei der Darstellung der Rechtssituation in Polen und Tschechien kann somit auf die umfangreichen und spezifischen Informationen aus dieser Veröffentlichung zurückgegriffen werden. Dabei wird jedoch weitestgehend auf die für die Umsetzung dezentraler Maßnahmen relevanten Aspekte des Hochwasserschutzes fokussiert.

7.1.2.1 Umweltsituation Polens und Tschechiens

Die gegenwärtige ökologische Situation und die Entwicklung in Polen und Tschechien stellen sich als äußerst ambivalent dar. Zum einen gehen gravierende Umweltbelastungen auch von Landwirtschaft und Siedlungswasserwirtschaft aus, zum anderen besteht gerade in den ländlichen Gebieten der Länder noch ein sehr gutes Umweltpotenzial, verbunden mit einer bislang noch sehr positiven Wirkung auf die Retention von Regenwasser.

Gleisenstein konstatiert in einer Untersuchung über die Umweltsituation in Polen, dass 25% der verfügbaren Grundwasservorkommen durch landwirtschaftliche Schadstoffeinträge, atmosphärische Einträge sowie ungereinigte Abwässer kontaminiert sind (vgl. Gleisenstein 2001, 16). In einem Großteil der polnischen Städte und Gemeinden existiert keine zentrale Abwasserbeseitigung. So negativ diese Situation für die Gewässergüte ist, bietet sie doch die Chance, bei der Entwicklung der technischen Infrastruktur von vornherein dezentrale Versickerungsanlagen für Niederschlagswasser vorzusehen und auf eine weitreichende Versiegelung des Bodens zu verzichten.

Die polnische Landwirtschaft zeichnet sich bislang durch für die Umwelt sehr positive Struktureigenschaften wie eine geringe Nutzungsintensität, eine sehr kleinteilige Besitzstruktur und eine im Verhältnis zu anderen europäischen Staaten unterentwickelte Mechanisierung der Bodenbearbeitung aus (vgl. Gleisenstein 2001, 19). Aufgrund dieser Bedingungen kann man davon ausgehen, dass die landwirtschaftlichen Flächen durch eine hohe Dichte an Strukturelementen wie Hecken und Randstreifen und eine geringe Bodenverdichtung und damit eine gute Retentionsfähigkeit von Niederschlagswasser geprägt sind. Gleisenstein nennt den Erhalt der Bodenqualität und geringe Erosionserscheinungen explizit zu den positiven Nebeneffekten der landwirtschaftlichen Situation. Dieser Zustand liegt auch darin begründet, dass die landwirtschaftlichen Besitztümer im Sozialismus nicht enteignet werden konnten, gleichzeitig eine industrielle Entwicklung der Landwirtschaft, wie sie in anderen Ländern stattfand, nicht erfolgte.

Diese „Rückständigkeit“ ist aus Umweltgesichtspunkten sehr positiv zu bewerten, jedoch besteht um so mehr die Gefahr, dass bei einer unbedachten Anpassung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren und siedlungswasserwirtschaftlicher Vorgehensweisen nach westlichem Muster die Umweltbelastungen zunehmen und die Retentionsleistung der Landschaft stark verringert wird (vgl. Gleisenstein 2001, 19). Gleisenstein fordert deshalb, bei einem Beitritt der osteuropäischen Länder die Umweltpolitik der Europäischen Union zu überdenken und Schwachstellen und kontraproduktive Regelungen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung umzugestalten.

„Es sollte Ansporn für die Europäische Union sein, eigene Fehler und Versäumnisse nicht auf die Beitrittsstaaten zu übertragen, sondern deren Potenziale zu bewahren. Besondere Dringlichkeit hat dabei die Landwirtschaftspolitik, denn die Übertragung der derzeit in der EU vorhandenen landwirtschaftlichen Struktur auf Polen kann nicht nur zum Verlust zahlreicher Arbeitsplätze, sondern auch zu einem starken Rückgang der Artenvielfalt führen“ (Gleisenstein 2001, 20).

In der Tschechischen Republik befindet sich die Landwirtschaft in einem ähnlichen Transformationsprozess wie in Polen und ist dementsprechend mit ähnlichen Gefahren konfrontiert. Die Privatisierung der landwirtschaftlichen Flächen hat noch nicht zu einem stabilen und langfristig tragfähigen Zustand geführt, da Pächter noch häufig wechseln, zahlreiche Flächen unbewirtschaftet bleiben und die Betriebsleitung in einigen Fällen eher über betriebswirtschaftliche als über fachliche Kompetenzen verfügt. Auf den unbewirtschafteten Flächen konnte sich die Natur in den letzten Jahren ungestört entwickeln, insgesamt wurde auch der Dünger- und Pestizideinsatz heruntergefahren, jedoch ist auch hier zu befürchten, dass diese positiven Entwicklungen den weiteren Transformationsprozess der Landwirtschaft nicht überstehen werden (vgl. Novotný 2000, 115 f.).

7.1.2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen des Hochwasserschutzes in der Tschechischen Republik

7.1.2.2.1 Rechtliche Grundlagen

Die gesetzliche Grundlage des tschechischen Hochwasserschutzes stellen mehrere Gesetze dar, die in erster Linie in den 70er- Jahren geschaffen und seitdem kaum grundlegend verändert wurden. Ergänzend dazu wurden zahlreiche Regierungsverordnungen und Bekanntmachungen erlassen. Insgesamt stellt sich das tschechische Recht zum Hochwasserschutz stark zersplittert und novellierungsbedürftig dar. Die wichtigsten Gesetze und untergesetzlichen Regelungen sind:

- das Gesetz über Gewässer von 1973 (zuletzt novelliert 1998)
- das Gesetz über die Staatsverwaltung in der Wasserwirtschaft von 1974 (zuletzt geändert 1992)
- die Anordnung der Regierung Nr. 100/1999 über den Hochwasserschutz
- die Anordnung der Regierung Nr. 27/1975 über den Schutz vor Hochwasser (Vorgängerverordnung der Anordnung Nr. 100/1999)
- die Regierungsverordnung über die Schutzgebiete der natürlichen Wasserakkumulation (1978, 1979 und 1981) (vgl. Kubicek 2000, 84 ff.; Kramer u.a. 2000, 191).

Zur umfassenden Erneuerung und Novellierung dieses zersplitterten Rechtsbereiches ist ein neues Gesetz geplant, in dem weitreichendere Regelungen zum Hochwasserschutz vorgesehen sind als bisher. Die Zielrichtung des Hochwasserschutzes vom Katastrophenschutz und Hochwassermanagement soll stärker auf vorbeugende Maßnahmen gelenkt werden. Die wesentlichen Inhalte beziehen sich auf die Betonung der staatlichen und privaten Verantwortung für den Schutz des Eigentums vor Hochwasser, die Möglichkeit, kommunale Ausgaben für den Hochwasserschutz durch die zu schützenden Eigentümer zu refinanzieren, und die staatliche Verpflichtung, den Hochwasserschutz dort, wo die Kommunen überlastet sind oder an ihre Grenzen stoßen, sicherzustellen. Zusätzlich soll ein kompetentes wasserwirtschaftliches Organ die Befugnis erhalten, Regelungen in sogenannten Gebieten zur Minderung der Hochwasserwirkung – entsprechend der deutschen Überschwemmungsgebiete – festzusetzen. Auch die Wirksamkeit der Hochwasserschutzpläne soll verstärkt werden (vgl. Reidinger 2000, 164 f.; Joklova 2000, 36 f.; Kramer u.a. 2000, 179).

Sobald die Tschechische Republik der Europäischen Union beitrifft, werden die europäischen Regelungen auch in Tschechien anzuwenden sein. Dies trifft insbesondere für die Europäische Wasserrahmenrichtlinie zu. Dabei der Übertragung in nationales Recht werden jedoch Übergangsfristen gewährt, die einen allzu großen Bruch verhindern sollen.

7.1.2.2.2 Organisation des Hochwasserschutzes

Nach dem Gesetz über Gewässer ist die Zuständigkeit im Hochwasserschutz in der Tschechischen Republik aufgeteilt: Vorbereitende, planerische Aspekte werden von Behörden

auf den drei Ebenen der Kommunen, der Bezirke und des Landes (Umweltministerium) wahrgenommen. Während eines Hochwasserereignisses treten die Hochwasserkommissionen in Aktion. Zusätzlich zu den drei genannten Ebenen sind die Hochwasserkommissionen auch in sogenannten geschlossenen Flussgebieten organisiert, von denen in Tschechien acht abgegrenzt wurden. Mit dieser flussgebietsbezogenen Verwaltung ist ein erster wichtiger Schritt zu einer flussgebietsweiten Betrachtung und in Richtung der Erfüllung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in diesem ansonsten nur in relativ geringem Maße an europäische Regelungen entsprechendem Rechtssystem getan. Die Hochwasserkommissionen werden unterstützt von Povodis, den als Aktiengesellschaften organisierten wasserwirtschaftlichen Verwaltungsorganisationen der Flussgebiete von March, Oder, Moldau und Elbe (vgl. Reidinger 2000, 159 f.; Kubicek 2000, 88).

Die Hochwasservorsorge ist im Gegensatz zu der Hochwasserbewältigung nicht nach Flussgebieten organisiert. Zentrale Aufgaben der zuständigen Behörden außerhalb von Hochwasserereignissen sind:

- die Vorbereitung von Hochwasserschutzmaßnahmen
- die Erstellung bzw. (auf übergeordneter Ebene) Bewilligung von Hochwasserplänen
- die Organisation von Meldewesen, Öffentlichkeitsarbeit, Bildung und Forschung (vgl. Reidinger 2000, 159 f.; Kubicek 2000, 88).

7.1.2.2.3 Planungs- und Umsetzungsinstrumente der Wasserwirtschaft

Als zentrales planerisches Instrument des Hochwasserschutzes wurden mit der Regierungsverordnung 1999 **Hochwasserpläne** eingeführt, die auf allen Ebenen – von der gesamtstaatlichen Ebene bis hinunter auf kommunale und Grundstücksebene – aufgestellt werden. Tschechien ist damit das einzige Land im Einzugsgebiet der Neiße, das ein Planwerk speziell für den Hochwasserschutz vorsieht (Kramer u.a. 2000, 175). Die Pläne beinhalten Schutzziele für Gebiete oder Objekte und geplante Maßnahmen. Diese inhaltlichen Zielsetzungen werden ergänzt durch eine graphische Darstellung von Überschwemmungsgebieten und Evakuierungswegen etc. sowie der Bestimmung der Verantwortlichkeiten wie etwa für Hochwasserwarnung und –meldung. Die Hochwasserpläne müssen an die jeweils höhere Ebene angepasst sein. Die Pläne sind zwar immer noch stark auf das Hochwassermanagement ausgelegt, mit dem geplanten Gesetz wird jedoch eine Entwicklung in Richtung vorsorgenden Hochwasserschutzes eingeleitet. So sollen diese z.B. Schutzgebiete festlegen und laufend aktualisiert werden (vgl. Reidinger 2000, 162 ff.; Joklova 2000, 36 f.; Kramer u.a. 2000, 179, 209).

Ergänzend zu den Hochwasserplänen wurden mit der Regierungsverordnung 1999 **Hochwasservorsorgeprogramme** als Instrument des Hochwasserschutzes eingesetzt. Sie werden in Zusammenarbeit des Landwirtschaftsministeriums und des Umweltministeriums aufgestellt. Aufbauend auf umfangreichen Analysen werden umsetzungsbezogene Programme entwickelt, so z.B. das Programm zur Landschaftspflege. Die Programme haben

eine verwaltungsinterne Verbindlichkeit auf den untergeordneten Ebenen der Kreise, Bezirke und Gemeinden (vgl. Kramer u.a. 2000, 210).

Eine besondere Bedeutung für den vorbeugenden Hochwasserschutz haben die **Gebiete der natürlichen Akkumulation des Wassers**, die als Schutzgebiete durch Regierungsverordnung festgelegt werden. Diese Gebiete zeichnen sich meist durch einen besonders hohen Waldanteil aus. So ist beispielsweise das Erzgebirge als ein solches Gebiet der natürlichen Akkumulation des Wassers ausgewiesen. Neben dem dabei vorrangigen Ziel des Gewässerschutzes dienen die Schutzgebiete auch dem Erhalt der natürlichen Retentionsfunktion der Wälder (vgl. Damohorský 2000, 105 f.).

Die **Versickerung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten** ist rechtlich nicht geregelt, es existieren lediglich Normen für die Einleitung in Grund- und Oberflächengewässer sowie die Kanalisation. Die in Deutschland mögliche Freistellung der Versickerung von der Erlaubnispflicht existiert in Tschechien nicht. Dieser Rechtsbereich bedarf deshalb einer weiteren Klärung und Regelung (vgl. Kramer u.a. 2000, 260, 263).

Anlagen zur **Bodenmelioration** befinden sich in Tschechien auch nach der Privatisierung der Landwirtschaft in öffentlicher Hand, sind jedoch von den jeweiligen Eigentümern der Grundstücke zu unterhalten. Inwiefern Bodenmeliorationen zurückgenommen werden können oder neue Meliorationsmaßnahmen erfolgen können und genehmigungsbedürftig sind, ist leider nicht bekannt (vgl. Kramer u.a. 2000, 280).

7.1.2.2.4 Planungs- und Umsetzungsinstrumente anderer Handlungsbereiche

Ähnlich wie im deutschen **Naturschutzrecht** können auch in der Tschechischen Republik sowohl bestimmte Gebiete als auch einzelne wichtige Landschaftselemente durch Kategorien wie Naturschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke, Landschaftsschutzgebiete oder einzelne umweltbedeutende Landschaftselemente unter Schutz gestellt werden. Insbesondere die umweltbedeutenden Landschaftselemente sind ein sehr umfassendes Schutzinstrument, das per Gesetz generell Bereiche wie Wasserläufe, Torfgründe, Wälder und Talfluren unter Schutz stellt. Zur Wahrung des Schutzes können Verbote ausgesprochen werden. Dies können z.B. Verbote hinsichtlich der Veränderung des Wasserregimes, der Veränderung landwirtschaftlicher Flächen oder der Beseitigung von Bäumen sein. Als planerische Instrumente des Naturschutzes werden zum einen sogenannte Gebietspläne der Ökostabilität, zum anderen Umweltschutzpläne für die Schutzgebiete aufgestellt. Beide Planarten stellen für Wasserwirtschaft und Forstwirtschaft verbindliche Grundlagen dar (vgl. Damohorský 2000, 107; Kramer u.a. 2000, 292 f.).

Eine der deutschen Flurbereinigung entsprechenden Maßnahmen existiert in Tschechien mit der **Grundstücksbereinigung** und der Regelung der Eigentumsverhältnisse an Agrarböden und anderen landwirtschaftlichen Vermögen. Das Gesetz verpflichtet die durchführende Behörde dabei zu einer Berücksichtigung der Interessen der Allgemeinheit, des Landschaftsbildes und des Schutzes der Natur. Geregelt werden in dem Verfahren auch

Auflagen zum Bodenschutz und zur Bodenfruchtbarkeit, zur Landschaftsbelebung und Ökostabilität (vgl. Kramer u.a. 2000, 280 f.).

Im Bereich der **Forstwirtschaft** stehen in Tschechien gemäß dem Waldgesetz von 1995 drei planerische Instrumente zur Verfügung: die Regionalen Forstentwicklungspläne, Forstwirtschaftliche Waldpläne sowie Forstwirtschaftliche Waldentwürfe. In diesen Plänen können Schutzwaldausweisungen vorgenommen werden, wobei auch der Hochwasserschutz einen möglichen Schutzgrund darstellen kann. Zum Schutz vor negativen Einflüssen auf den Wasserabfluss können Maßnahmen wie Aufforstungen und Wiederaufforstungen vorgesehen werden. Auch privaten Waldbesitzern können umfassende Verpflichtungen zum Erhalt der Schutzfunktion des Waldes auferlegt werden. Kramer et al. sind allerdings der Auffassung, dass die Möglichkeit, aus Retentionsgründen Wald unter Schutz zu stellen, nicht ausreichend genutzt werde (vgl. Kramer u.a. 2000, 178, 283 f.).

Der **Bodenschutz** beruht in der Tschechischen Republik auf mehreren, sich ergänzenden Rechtsbereichen. Durch die räumliche Planung können insbesondere die Versiegelung und die Freihaltung sensibler Bereiche geregelt werden. Daneben treten Regelungen zum Schutz des Bodens vor schädlichen Verunreinigungen sowie Regelungen in anderen Umweltbereichen, die indirekt auch auf für den Bodenschutz relevant sind. Für land- und forstwirtschaftliche Böden existieren eigenständige Gesetze. Das Gesetz zum Schutz des Bodenfonds von 1992 zielt darauf, alle landwirtschaftlichen Flächen des Bodenfonds vor einer Inanspruchnahme zu schützen und die Qualität des Bodens im Sinne des Schutzes bestimmter Kulturen zu sichern. Neben verwaltungsrechtlichen Instrumenten können auch ökonomische Mittel und Sanktionen zu diesem Zweck eingesetzt werden. Insgesamt ist der Bodenschutz in Tschechien jedoch noch nicht sehr weit entwickelt und spielt nach Kramer u.a. nur eine untergeordnete Rolle (vgl. Kramer u.a. 2000, 178, 287 f.).

Die **Raumordnung** ist in Tschechien im Gegensatz zu Deutschland für den vorbeugenden Hochwasserschutz von geringerer Bedeutung. Sie beinhaltet keine Regelungen, die den Hochwasserschutz direkt berühren. Der Hochwasserschutz kann lediglich indirekt durch die Siedlungsentwicklung, Versiegelungsbegrenzungen und Schutzgebiete etc. beeinflusst werden. Die Struktur der Tschechischen Raumplanung ist auch nach einigen Novellierungen des Gesetzes über Gebietsplanung und Bauordnung bis heute nicht endgültig und zufriedenstellend geregelt und befindet sich weiterhin in der Diskussion. Zentrales planerisches Instrument ist die Gebietsplanung, die laut Gesetz für die überörtliche Ebene (große Gebietseinheit), die lokale sowie die teilgemeindliche Ebene (Zone) etabliert werden soll. Die Gemeinden stellen aufgrund der kommunalen Selbstverwaltung die Gebietspläne in eigener Verantwortung auf. Nachdem die Bezirksebene 1990 abgeschafft wurde, wurden mit der Gesetzesnovellierung 1998 14 Regionen neu gebildet, die jedoch nicht mit der Europäischen Regionsabgrenzung übereinstimmen und für die bisher einige genaue Definition der Zuständigkeiten und Aufgaben fehlt. Die überörtlichen Gebietspläne werden bislang nicht in eigener Verantwortung der Regionen, sondern von staatlicher Seite aufgestellt und umfassen verschieden große Einheiten von mehreren Gemeinden bis zum gesamten

Staatsgebiet. Die grenznahen Gebietspläne werden zum Teil mit Finanzmitteln Europäischer Förderprogramme verbunden. Die sonstigen Gebietspläne sind traditioneller Art insofern, als sie nicht mit Umsetzungsinstrumenten und begleitenden Abstimmungsprozessen verknüpft sind. Ergänzend zur formellen Raumplanung sollen verschiedene regionalpolitische Programme eine integrierte Raumentwicklung voranbringen, bei der wirtschaftliche, ökologische und soziale Aspekte berücksichtigt werden.

Kramer kritisiert, dass der raumplanerische Schwerpunkt bisher noch auf einer umfassenden Bestandsaufnahme sowie der Darstellung der fachlichen Erfordernisse liegt. Als problematisch sehen Kramer u.a. und Pallagst die mangelnde Koordinierung der Planungen auf den verschiedenen Ebenen und mit den Fachplanungen sowie das Fehlen gesamtträumlicher, übergeordneter Konzeptionen, was gerade auch für die verschiedenen Maßnahmenbereiche und Planungsebenen des Hochwasserschutzes nachteilig ist (vgl. Kramer u.a. 2000, 176, 227f., 253; Pallagst 2001, 21 ff.).

7.1.2.2.5 Grenzübergreifende Abstimmung und Kooperation

Insbesondere mit der Etablierung der Deutsch-Tschechischen Grenzkommission und der Mitgliedschaft an den Internationalen Flussgebietskommissionen für den Schutz von Elbe, Oder und Donau in den Jahren nach 1989 ist ein wichtiger Schritt in Richtung grenzüberschreitender, flussgebietsweiter Betrachtung getan. Die Kommissionen beschäftigen sich nicht nur mit der Wasserqualität, sondern streben in einem ganzheitlichen Ansatz die Verbesserung des gesamten Ökosystems an. Dazu zählt auch die Erstellung von Maßnahmenplänen gegen Hochwasser (vgl. Joklova 2000, 35). Dennoch liegt der Schwerpunkt der Kooperationen bislang auf einem „reagierenden, nachsorgenden“ Hochwasserschutz, vorsorgende Aspekte und insbesondere dezentrale Maßnahmen im Einzugsgebiet werden weniger thematisiert (Kramer u.a. 2000, 174 f., 194 ff.).

7.1.2.3 *Rechtliche Rahmenbedingungen des Hochwasserschutzes in Polen*

7.1.2.3.1 Rechtliche Grundlagen

Der Hochwasserschutz beruht in Polen in erster Linie auf dem Gesetz zum Wasserrecht von 1974, dessen Novellierungen (zuletzt 1997) und ergänzenden Ausführungsvorschriften. Im Gesetz zum Wasserrecht sind auch einige wasserwirtschaftliche Aspekte im weiteren Sinne geregelt, so etwa die Bodenmelioration, Wasserver- und -entsorgung sowie Abgaben. Auch aufgrund des großen Staatseinflusses in allen Handlungsbereichen zur Zeit Realsozialismus beinhaltet das Wasserrecht zwar eine breite Palette von Themen, die jedoch nicht sehr tiefgehend geregelt sind. Bereits das geltende Wasserrecht enthält Regelungen explizit zum Hochwasserschutz. Im Jahr 2000 wurde ein Gesetzesentwurf erarbeitet, der einige grundlegende Neuerungen auch für den Hochwasserschutz vorsieht wie beispielsweise eine stärkere Differenzierung wasserwirtschaftlicher Pläne. Neben das Gesetz zum Wasserrecht treten Vorschriften aus anderen Gesetzen, die insbesondere vorbeugende Aspekte tangieren.

Dies ist vor allem das Gesetz über den Schutz und die Gestaltung der Umwelt, in dem allgemeine Prinzipien des Gewässerschutzes festgelegt werden (vgl. Rotko 2000b, 21 ff.).

7.1.2.3.2 Organisation des Hochwasserschutzes

Ähnlich wie in Tschechien sind die Strukturen des Hochwasserschutzes in Polen zweigegliedert: Im Hochwasserfall treten die Hochwasserkomitees auf Staats-, Wojewodschafts- und Gemeindeebene in Aktion und sorgen für eine schnelle Bewältigung des Hochwassers. Um Hochwasserprobleme langfristig in den Griff zu bekommen, wurde in den letzten Jahren ein sogenanntes Krisenmanagement eingesetzt. Deren Aufgabe ist es, geeignete Lösungsstrategien und Vorgehensweisen zu erarbeiten und eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Meteorologie sowie den Regionalen Vorständen der Wasserwirtschaft als wasserwirtschaftliche Verwaltungsorganisationen sicherzustellen. Das Krisenmanagement ist auf verschiedenen Verwaltungsebenen etabliert und wird inhaltlich durch Arbeitsgruppen unterstützt. Mit diesem Krisenmanagement, das grundsätzliche Strukturen schaffen und langfristige Strategien entwickeln soll, ist ein wichtiger Schritt in Richtung Hochwasservorsorge als Ergänzung zum reinen Hochwassermanagement getan (vgl. Kramer u.a. 2000, 319).

Die Umweltverwaltung, die für den vorbeugenden Hochwasserschutz von besonderer Bedeutung ist, ist in Polen wie in Deutschland auf verschiedenen Ebenen organisiert. Neben der zentralen staatlichen Ebene und der Gemeindeebene tritt nun eine seit 1999 grundlegend neu strukturierte regionale Ebene. Während die Zahl der Wojewodschaften von 46 auf 16 verringert wurde, wurde im Gegenzug die Ebene der Landkreise wieder eingeführt, so dass auch im Bereich des Hochwasserschutzes neue Zuständigkeiten entstanden sind (vgl. Kramer u.a. 2000, 319 f.; Reiplinger 2000, 52).

7.1.2.3.3 Planungs- und Umsetzungsinstrumente der Wasserwirtschaft

Zentrales wasserwirtschaftliches Planungsinstrument ist seit 1998 ein wasserwirtschaftlicher Plan, der wörtlich mit „**Bedingungen der Gewässerbenutzung im Einzugsgebiet**“ übersetzt werden kann. Die Pläne haben verwaltungsinterne Bindungswirkung und werden von den jeweiligen regionalen Vorständen der Wasserwirtschaft für sieben Einzugsgebiete aufgestellt. Er bezieht sich sowohl auf oberirdische Gewässer wie auf das Grundwasser und beinhaltet eine Begrenzung der Benutzung der Gewässer und deren Anlagen, eine Richtschnur für Investitionen und geplante Forschungsvorhaben. Neben stofflichen Belastungen aus der Kanalisation sollen auch andere Belastungsquellen, der Gewässerzustand, anliegende Nutzungen und Erfordernisse der Raumordnung sowie des Umweltschutzes thematisieren werden. Die Aufstellung der Pläne ist noch nicht sehr weit fortgeschritten, lediglich einige wenige Pläne für kleine Einzugsgebiete befinden sich in der Vorbereitung. Es gibt jedoch noch keine Rechtsverordnungen, die das Aufstellungsverfahren und den Umfang regeln und die Inhalte konkretisieren. Insofern fehlt eine flächendeckende wasserwirtschaftliche Planung als Grundlage für Genehmigungen und eine langfristige gezielte Flussgebietsentwicklung (vgl. Rotko 2000b, 24 f.; Rotko 2000a, 66; Kramer u.a. 2000, 209, 217). Der Entwurf des Wassergesetzes von 2000 sieht eine Ausweitung der wasserwirtschaftlichen Planung zu

einem System von Plänen vor. Dabei sollen sich Pläne zur Verbesserung der Gewässerressourcen im Staat, Pläne zur Gewässerbewirtschaftung im Einzugsgebiet sowie Pläne und Programme des Hochwasserschutzes gegenseitig ergänzen (vgl. Kramer u.a. 2000, 218).

Die **Versickerung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten** ist in Polen im Wassergesetz und einigen ergänzenden Vorschriften geregelt. Es sind jedoch einige Neuerungen in der anstehenden Novellierung des Wassergesetzes zu erwarten, die jedoch noch nicht konkret feststehen. Zurzeit gilt für Siedlungsgebiete ein Anschluss- und Benutzungszwang für die Niederschlagskanalisation. Gebiete mit Einfamilienhäusern und landwirtschaftliche Hofflächen sind davon ausgenommen. In diesen Fällen ist die Versickerung von nicht verunreinigtem Niederschlagswasser – auch über bestimmte Anlagen wie Beregnungsanlagen in der Landwirtschaft – genehmigungs- und abgabefrei (vgl. Kramer u.a. 2000, 258 f., 262 f.; Rotko 2000b, 29; ders. 2000a 67).

Die **Bodenmelioration** landwirtschaftlicher Flächen wird im Wasserrecht aus der Sicht des Hochwasserschutzes nur unzureichend geregelt. Genehmigungen sind nur für staatliche Meliorationsmaßnahmen vorgeschrieben. Auswirkungen auf die Umwelt spielen nach Wasserrecht bei der Genehmigung keine Rolle. Private Maßnahmen sind damit genehmigungsfrei (vgl. Kramer u.a. 2000, 279 f.).

7.1.2.3.4 Planungs- und Umsetzungsinstrumente anderer Handlungsbereiche

Der **Naturschutz** in Polen beschränkt sich im Gegensatz zum deutschen und tschechischen Naturschutz auf konkrete Schutzgebietsausweisungen. Planerische Instrumente wie Landschaftspläne etc. werden nicht genutzt. Der Gebietsschutz beinhaltet den Nationalpark, Reservate, Landschaftsparke und Landschaftsschutzgebiete als großflächige Schutzkategorien sowie vier weitere lokale Schutzkategorien. Beim Gebietsschutz sind erste grenzübergreifende Schutzgebiete als Kooperationen zwischen Polen und Deutschland entstanden, so z.B. der Landschaftspark Bad Muskau-Leknica beidseitig der Neiße (vgl. Kramer u.a. 292).

Die **Forstwirtschaft** in Polen arbeitet gemäß Polnischem Waldgesetz von 1991 mit Plänen für eine nachhaltige Forstwirtschaft als planerisches Instrumentarium. Wie in Deutschland und der Tschechischen Republik sind auch in Polen Schutzgebietsausweisungen u.a. auch aus wasserwirtschaftlichen Gründen zur Retention von Niederschlagswasser möglich. Kramer u.a. weisen jedoch darauf hin, dass in Polen und Tschechien gleichermaßen diese Möglichkeit zu wenig genutzt wird. Die Regelung, dass gewässernahe Gebiete aufgeforstet werden sollen, stellt eine Besonderheit des polnischen Waldrechts dar, die dem Hochwasserschutz besonders dienlich ist. Inwieweit weitere Konkretisierungen einer nachhaltigen und dem vorbeugenden Hochwasserschutz förderlichen Waldbewirtschaftung gemacht werden, ist nicht bekannt. (vgl. Kramer u.a. 2000, 283 f.).

Das polnische **Bodenschutzrecht** regelt in erster Linie den Schutz von landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Böden vor einer Umwidmung in Siedlungsfläche, wobei der Versiegelungsgrad selbst nicht Gegenstand des Bodenschutzes ist. Neben dem Bodenschutzgesetz wirken auch andere Rechtsbereiche wie insbesondere das Gesetz über den Schutz und die Gestaltung der Umwelt sowie nachfolgende Ausführungsvorschriften auf den Erhalt der Bodenfunktionen. Das Ziel der Regelungen richtet sich zum einen auf das Vorbeugen schädlicher Veränderungen der Erdoberfläche wie Verschmutzung, Zerstörung, Beeinträchtigung des Grünbewuchses, Eintrag schädlicher Stoffe, Bebauung und Versiegelung. Zum anderen wird bei schädlichen Veränderungen auch die Wiederherstellung des früheren Zustands gefordert. Beide Ziele sind instrumentalisiert durch konkrete Verhaltenspflichten, so z.B. das Gebot der Wiederherstellung biologisch aktiver Flächen im Rahmen wirtschaftlicher Tätigkeit (Kramer u.a. 2000, 286 f.).

Ebenso wie in Tschechien ist die polnische **Raumordnung** für den Hochwasserschutz im Vergleich zu Deutschland eher von untergeordneter Bedeutung. Das polnische Raumordnungsgesetz enthält keine expliziten Hinweise auf den Hochwasserschutz und insbesondere vorbeugende Aspekte. Hinzu kommt, dass sich das Raumordnungssystem noch im Aufbau befindet. Das polnische Raumordnungsgesetz trat 1994 in Kraft und wurde bereits 1998 novelliert. Im Jahre 2000 wurde ein weiterer Novellierungsvorschlag eingebracht, der einige Neuerungen im System der räumlichen Planung vorsieht. Nach dem Raumordnungsgesetz 1994 stellen die Gemeinden auf lokaler Ebene in eigener Verantwortung Raumordnungspläne auf, in denen die besonderen Bedingungen der Flächenbewirtschaftung festgelegt werden und die als Grundlage für die Durchführung von (Bau-) Vorhaben dienen. Die Festsetzungen erfolgen „unter Beachtung der Schutzbedürfnisse der natürlichen und kulturellen Umwelt, der richtigen Bewirtschaftung von Naturressourcen und des Bodenschutzes“ (Art. 10 Abs. 1 Nr. 8 ROG 1994). Kramer u.a. weist darauf hin, dass die Schutzbedürfnisse der Umwelt die Belange des Hochwasserschutzes durchaus implizieren (vgl. Kramer u.a. 2000, 252). Seit der Novellierung des Raumordnungsgesetzes 1998 können auch auf regionaler Ebene Raumordnungspläne der Wojewodschaften erstellt werden, die jedoch keinerlei Verbindlichkeit haben. Diese Pläne enthalten weitere Regelungen zum Umweltschutz und zu besonderen Schutzgebieten wie etwa über Schutzgebiete des Wasserrechts. Der Novellierungsvorschlag des Gesetzes über Planung und Raumordnung aus dem Jahr 2000 sieht die Einführung eines zweistufigen Planungssystems auf lokaler Ebene vor. Neben den gemeindeweiten Plänen der Raumentwicklung sollen Pläne der Raumbewirtschaftung – entsprechend den deutschen Bebauungsplänen – konkrete Regelungen treffen. In den Plänen der Raumentwicklung sollen auch die von Hochwasser bedrohten Überschwemmungsgebiete dargestellt werden. Darüber hinaus kann die Raumordnung wie auch im deutschen Recht in erster Linie über die Freihaltung von ökologisch wertvollen Freiflächen, den Versiegelungsgrad etc. hochwasserrelevante Festlegungen treffen (vgl. Kramer u.a. 2000, 251 ff.).

7.1.2.3.5 Grenzübergreifende Abstimmung und Kooperation

Ähnlich wie in der Tschechischen Republik wurden auch in Polen einige grenzübergreifende Kooperationsnetzwerke aufgebaut. Dazu gehört die deutsch-polnische Grenzgewässerkommission, die polnisch-tschechische Grenzgewässerkommission sowie die Mitgliedschaft in den Internationalen Kommissionen zum Schutz der Oder und der Elbe. Die Hochwasserproblematik an Neiße und Oder hat in der deutsch-polnischen Grenzgewässerkommission eine sehr große Bedeutung. Speziell auf dem Gebiet der Raumordnung wurde zwischen Deutschland und Polen ein Ressortabkommen geschlossen und eine grenzüberschreitende Raumordnungskommission eingesetzt, die für eine ausreichende gegenseitige Informationspolitik sowie eine Zusammenarbeit zwischen den raumordnerischen Institutionen sorgen soll. Sie dient damit auch als Grundlage für die hochwasserbezogene Politik im Grenzgebiet (Reiplinger 2000, 39 ff., 50; Kramer u.a. 2000, 194 ff.).

7.2 Räumliche Konkretisierung nach Auswertung des Ist-Zustands

In den vorausgegangenen Kapiteln wurde aufgezeigt, inwiefern dezentrale Maßnahmen und insbesondere die konservierende Bodenbearbeitung einen Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz leisten können. Dieses Kapitel widmet sich nun der Erstellung einer Hochwasserschutzkonzeption – und somit einer Konzeption zum einzugsgebietsbezogenen, nachhaltigen Wasserhaushaltsmanagements – unter besonderer Betonung und Einbeziehung dezentraler Maßnahmen im Einzugsgebiet der Neiße. Es soll als Grundlage für die Umsetzung und Verankerung der Maßnahmen dienen.⁶ Dabei wird eine Methodik entwickelt, mit der die Maßnahmen im Raum verortet werden können.

7.2.1 Vorgehensweise

Zur Entwicklung des vorsorgenden Hochwasserschutz- und -vermeidungskonzeptes wird ein dreistufiges Vorgehen gewählt. Der Konkretisierung und genaueren Verortung der Maßnahmen erfolgt zunächst eine räumliche Eingrenzung des Handlungsraumes auf bestimmte prioritäre Gebiete. Diese Eingrenzung ist deshalb sinnvoll, weil eine flächendeckende Umsetzung der Maßnahmen bei einer Einzugsgebietsgröße von mehreren hundert Quadratkilometern und einem Einzugsgebiet, das EU-grenzüberschreitend verläuft, zwar wünschenswert, aber aus ökonomisch-finanziellen Gründen kurz- bis mittelfristig kaum realisierbar ist. Deshalb wird eine Fokussierung auf bestimmte Gebiete als Keimzellen einer flächendeckenden Umsetzung vorgenommen. Diese Vorgehensweise bietet auch den Vorteil, dass anhand der ausgewählten Gebiete in späteren Untersuchungen eruiert werden könnte, in welchem Maße die beabsichtigte Wirkung tatsächlich eintritt und mit welchen sozioökonomischen Bedingungen und Folgen eine Umsetzung verbunden wäre. Daraus ließen sich wichtige Schlüsse für eine weiter gehende Umsetzung ziehen. Die Effizienz des

⁶ Die für die Umsetzung und rechtliche Verankerung einsetzbaren Instrumente werden in dem Kapitel „Rechtliche und verwaltungstechnische Aspekte eines vorbeugenden dezentralen Hochwasserschutzes“ erörtert.

Mitteinsatzes erfordert es, dass dezentrale Maßnahmen dort verwirklicht werden, wo sie die größte Wirkung erzielen. Deshalb sind als prioritären Gebiete solche Bereiche auszuwählen, die erstens besonders abflusswirksam sind und damit besonders stark zu einem potenziellen Hochwasserereignis beitragen können und deren Abfluss zweitens durch zu ergreifende Maßnahmen besonders weitreichend vermindert und/ bzw. retardiert werden kann. Die Auswahl erfolgt in Kapitel 7.2.2 und mündet in einer gebietsbezogenen Prioritätenkarte. Da im Rahmen dieses Projektes lediglich der Einfluss der Bodenbearbeitung auf landwirtschaftlichen Flächen untersucht wird, ist unter der Verwirklichung von Maßnahmen in diesem Unterkapitel nur die Einführung der konservierenden Bodenbearbeitung gemeint.

Die in diesem ersten Schritt entwickelte Methodik wird in Kapitel 7.2.3 hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit bewertet. Zudem werden die ermittelten Abflusswerte für die Teileinzugsgebiete mit verschiedenen Gebietsmerkmalen der Teileinzugsgebiete in Beziehung gesetzt, interpretiert und auf Plausibilität überprüft.

Abschließend wird ein Konzept zur Verortung der verschiedenen dezentralen Maßnahmen im Einzugsgebiet entwickelt (Kapitel 7.2.4). Die bisherige Schwerpunktsetzung auf die konservierende Bodenbearbeitung wird nun erweitert, indem auch andere Maßnahmenbereiche des dezentralen Rückhaltes oberirdisch abfließender Niederschlagsmengen und damit der Hochwasserreduktion in der Fläche einbezogen werden. Zu den Maßnahmenbereichen gehören die Flurdurchgrünung, die Anlage von Wald- und Grünflächen, die Verbauung von Leitlinien, die Anlage von Gewässerrandstreifen sowie die Wegeführung am Hang. Für jeden Maßnahmenbereich werden grundsätzliche Kriterien herausgearbeitet, die mit Hilfe der hier zur Verfügung stehenden Datengrundlagen eine Verortung der Maßnahmen in der Fläche ermöglichen. Die Verortung wird anhand von „Spotlights“ aus dem Einzugsgebiet der Neiße beispielhaft verdeutlicht.

7.2.2 Auswahl prioritärer Teileinzugsgebiete

Der im Rahmen dieses Forschungsprojektes genauer untersuchte Teil des Einzugsgebietes der Neiße erstreckt sich über eine Fläche von 451 km². Innerhalb dieses Gebietes sollen entsprechend der in Kapitel 7.2.1 erläuterten Vorgehensweise Teileinzugsgebiete gebildet werden, deren Abflusswerte die Grundlage für die Auswahl prioritär zu bearbeitender Teileinzugsgebiete darstellen. Zu diesem Zweck erfolgt zunächst eine Untergliederung des gesamten Untersuchungsgebietes in 110 Teileinzugsgebiete (siehe Kapitel 6.2.3). Die Teileinzugsgebiete werden mit einem Erweiterungstool von ArcView anhand der topographischen Voraussetzungen und der Lage der Fließgewässer gebildet. Dies wird in einigen Fällen ergänzt um eine weitere Unterteilung der Gebiete per Hand. Die Fläche der Teileinzugsgebiete beträgt durchschnittlich 4,1 km² und - mit Ausnahme einer Tagebaufläche – maximal 10 km².

Mit Hilfe des Simulationsmodells NASIM wird jedem Teileinzugsgebiet ein Abflusswert zugewiesen (vgl. Kapitel 6). Optimalerweise müsste hierfür eine statistische Auswertung einer Vielzahl von Hochwasserereignissen zu Grunde gelegt werden (siehe Kapitel 6.6). Im Rahmen

dieses Projektes stehen jedoch nur zwei detailliert erfasste Ereignisse zur Verfügung. Dies ist zum einen das Kalibrierungshochwasser aus dem Jahr 1997, das jedoch nur eine Wiederkehrhäufigkeit von 2 Jahren besitzt. Ein Hochwasserereignis aus dem Jahr 1981 hat dagegen eine sehr viel geringere Wiederkehrhäufigkeit und wird deshalb für die weitere Untersuchung herangezogen.

Der Abflusswert der Teileinzugsgebiete kann durch verschiedene Einheiten, die unterschiedliche Aussagen über das Abflussverhalten und damit unterschiedliche Rückschlüsse auf die Hochwasserbeeinflussung erlauben, abgebildet werden. NASIM kann u.a. folgende abflussbezogene Parameter ausgeben:

1. Oberflächennaher Abfluss in mm ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot 1000$)
2. Gesamtabfluss in mm ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot 1000$)
3. Gesamtabfluss in m^3
4. Maximaler Gesamtabfluss in m^3/s
5. Maximale Gesamtabflusssspende in l/s und ha

Von diesen treffen lediglich die Parameter oberflächennaher Abfluss (kurz: Oberflächenabfluss!) und Gesamtabfluss in mm eine hinsichtlich der Fläche normalisierte Aussage über den Abfluss aus dem Gebiet. Der Oberflächenabfluss fließt dabei im Vergleich zum Gesamtabfluss wesentlich schneller dem Gewässer zu und ist damit besonders für die Geschwindigkeit der Hochwasserentwicklung ausschlaggebend. Da in diesem Projekt dezentrale Maßnahmen in der Fläche zur Minimierung des oberflächlichen Abflusses thematisiert werden, wird der natürliche Oberflächenabfluss als Kennzahl des Gebietsabflusses gewählt. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass der Oberflächenabfluss sich nur auf die Abflussbildung auf natürlichen Flächen, d.h. von Freiflächen wie Acker- oder Waldflächen bezieht. Aussagen über die Abflussbildung in Siedlungsgebieten wären lediglich über den Parameter Gesamtabfluss möglich.

Abbildung 44 zeigt für die Teileinzugsgebiete der Lausitzer Neiße die Abflusswerte des Hochwasserereignisses von 1981. Die Klassifizierung erfolgt dabei – wie auch in den folgenden Abbildungen – durch ArcView anhand von „Natural Breaks“, verbunden mit einer eigenständigen Auf- oder Abrundung der Werte durch die Bearbeitenden.

Aus dieser Darstellung lassen sich bereits solche Teileinzugsgebiete ableiten, in denen aufgrund ihrer Abflusswirksamkeit ein besonderes Engagement im dezentralen, vorsorgenden Hochwassermanagement und -schutz sinnvoll ist. Entsprechend der in Abschnitt 7.2.1 erläuterten Vorgehensweise ist jedoch auch zu berücksichtigen, inwiefern Maßnahmen in den Teileinzugsgebieten zu einer wirkungsvollen Verringerung des Oberflächenabflusses beitragen können. Abbildung 45 zeigt deshalb die prozentuale Verringerung des Oberflächenabflusses anhand zweier Szenarien mit verschiedenen Umsetzungsgraden der konservierenden Bodenbearbeitung.

Die absoluten Abflusswerte dieser Szenarien liegen im Bereich zwischen 4 und 16 mm. Damit hat sich eine sehr entscheidende Verbesserung der Abflusssituation eingestellt. Da für einen Vergleich mit dem Ist-Zustand der gleiche Skalierungsbereich nötig ist, ist eine Darstellung hier nicht mehr sinnvoll – alle Teileinzugsgebiete würden einheitlich weiß dargestellt werden.

Aus der Kombination der Karte des Oberflächenabflusses im Status quo und der Verringerung des Abflusses in den Szenarien können prioritäre Teileinzugsgebiete generiert werden. Dabei müssen vom Bearbeiter Vorgaben hinsichtlich der Vergabe der Prioritäten (Klassenbildung) gemacht werden, Die hier gewählten Vorgaben und die daraus resultierenden Ergebnisse sind in Tabelle 20 und entsprechenden Prioritätenkarte dargestellt.

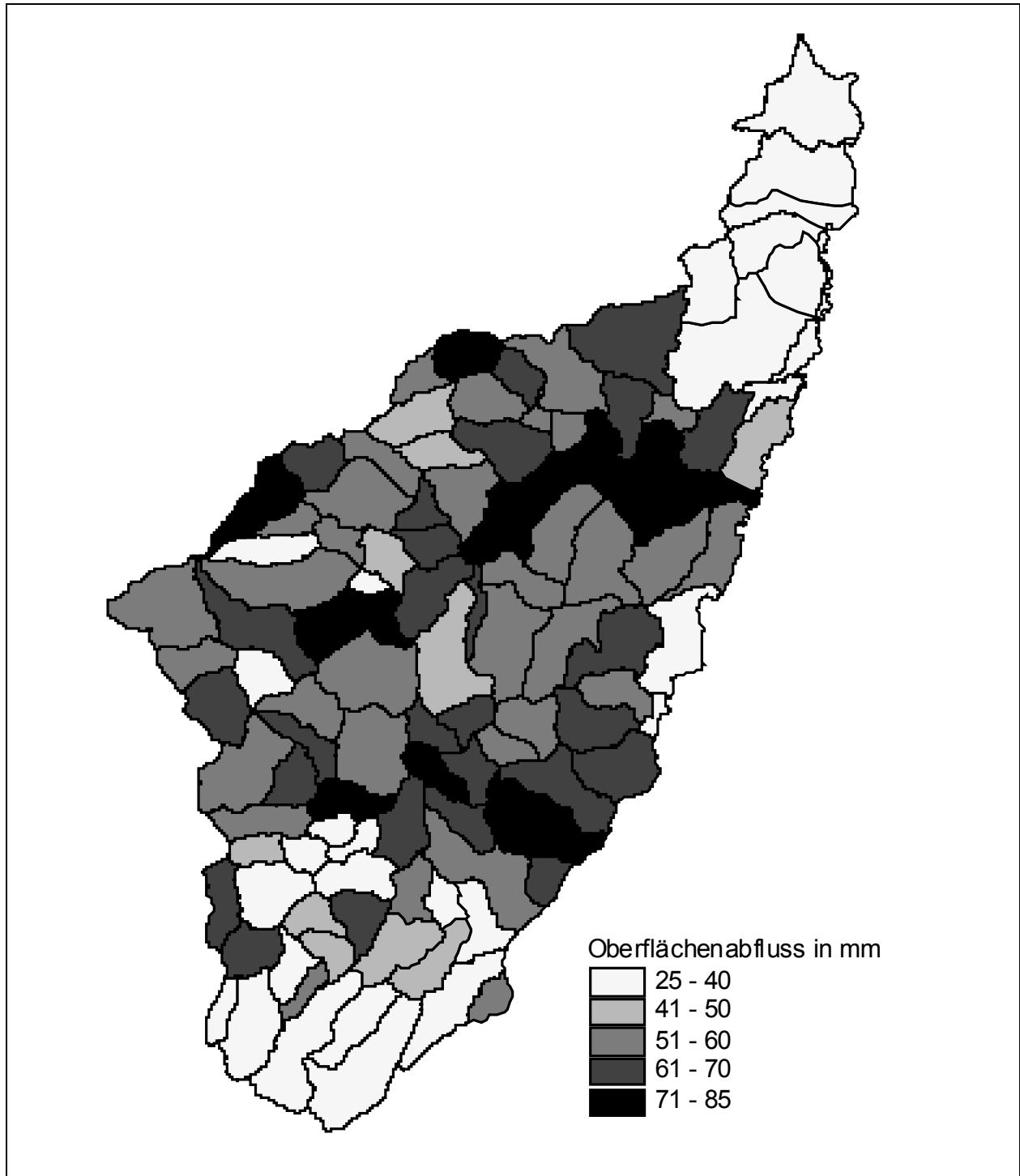


Abbildung 44: Oberflächenabfluss im Ist-Zustand

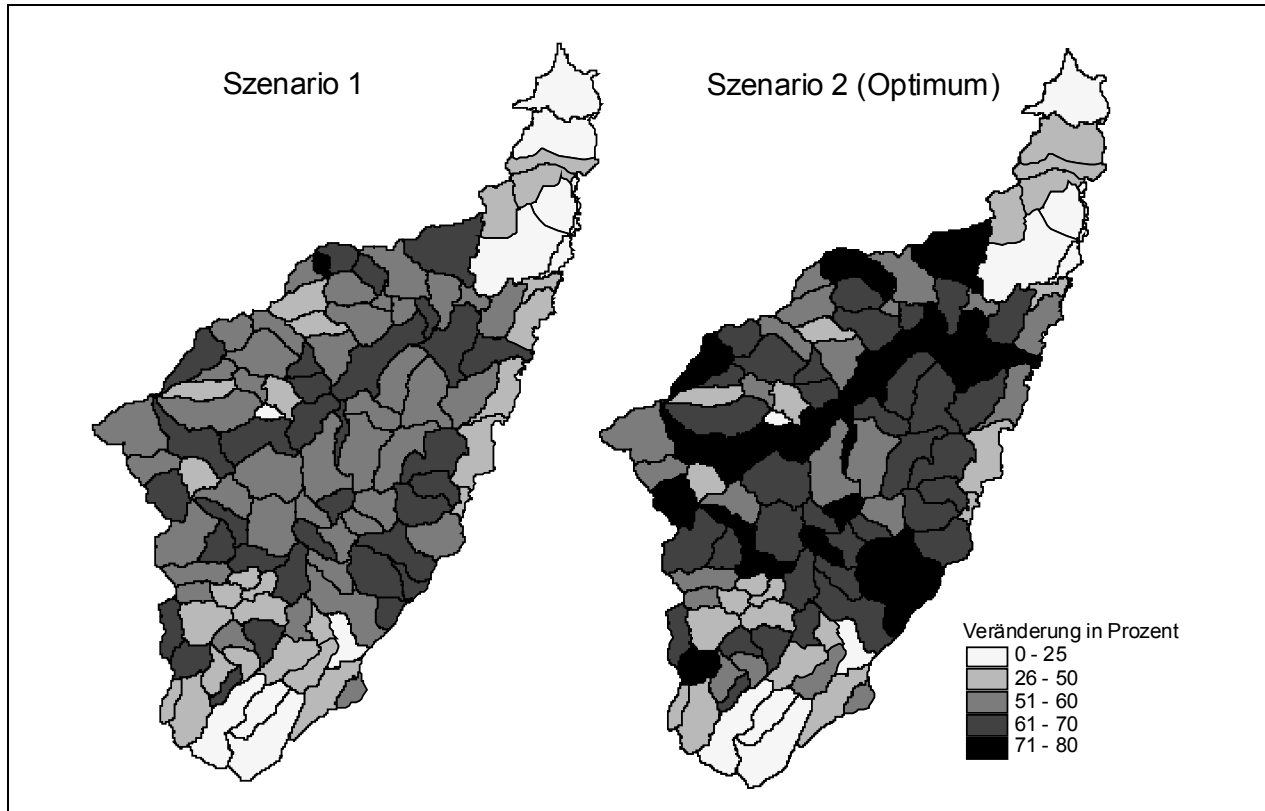


Abbildung 45: Prozentuale Verringerung des Oberflächenabflusses durch dezentrale Maßnahmen

Oberflächenabfluss im Ist-Zustand	Verringerung					Gesamt
	0-25 %	26-50 %	51-60 %	61-70 %	71-80 %	
0-40 mm	9	18	1			28
41-50 mm		3	6	1		10
51-60 mm			14	19		33
61-70 mm				16	11	27
71-85 mm					12	12
Gesamt	9	21	21	36	23	110

Prioritätenklassen: **1. Priorität** 2. Priorität 3. Priorität

Tabelle 20: Häufigkeitsverteilung in den Klassen und Vergabe von Prioritäten

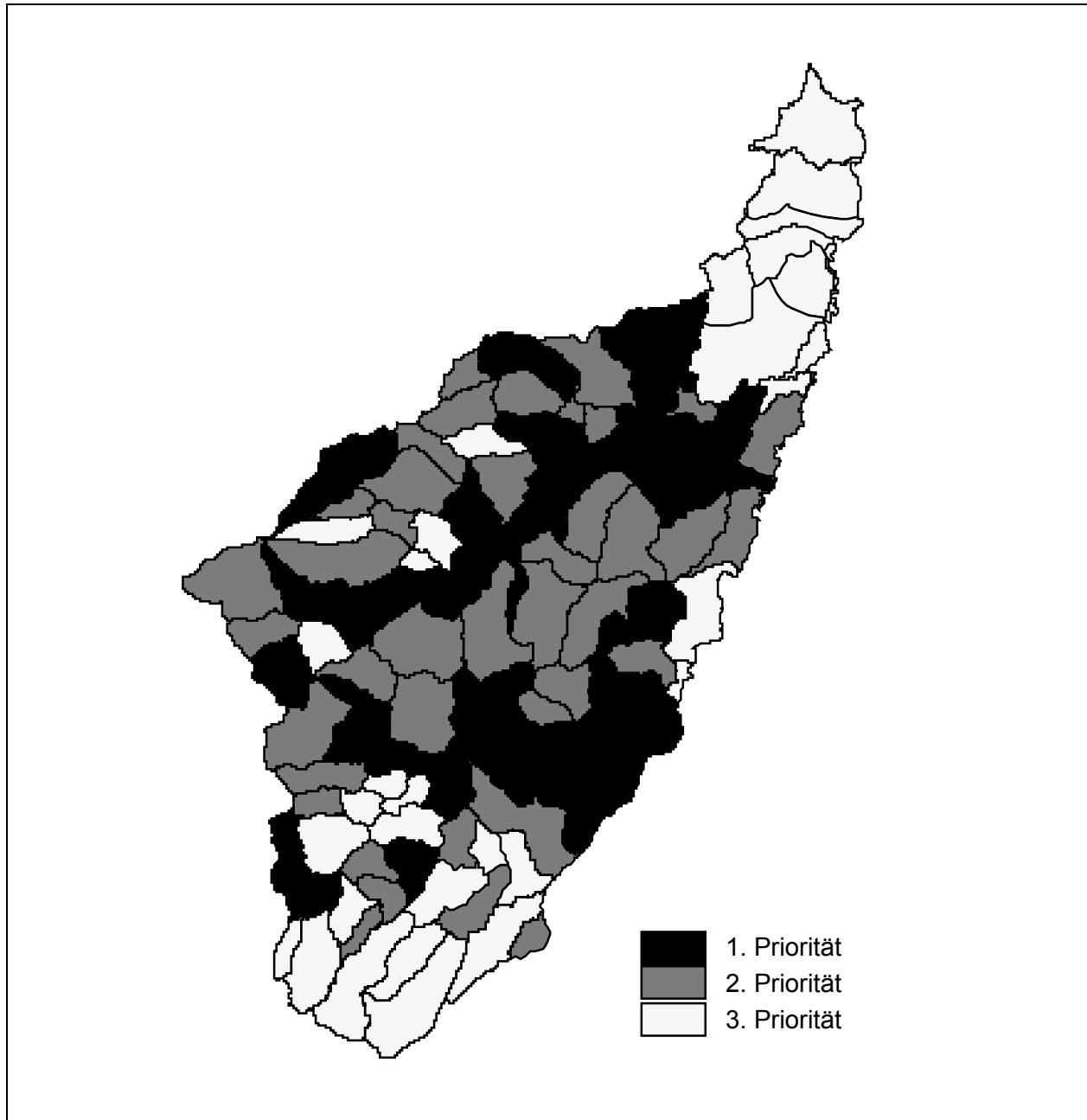


Abbildung 46: Prioritätenkarte

7.2.3 Interpretation der Ergebnisse

Die hier entwickelte Methodik zur Ermittlung von Teileinzugsgebieten, die zur Verminderung hochwasserfördernder Abflüsse in besonderem Maße von Bedeutung sind, führt insgesamt zu einem guten Ergebnis: Die Verteilung der Teileinzugsgebiete auf die Prioritätenklassen ist relativ ausgewogen, d.h. keine Klasse ist deutlich über- oder unterrepräsentiert. Die Teileinzugsgebiete erster Priorität liegen keinesfalls unzusammenhängend verstreut über das gesamte Einzugsgebiet, sondern bilden zusammenhängende Cluster, die zum Teil mit den Verläufen der Zuflüsse der Neiße übereinstimmen. Diese Clusterbildung erleichtert eine spätere Umsetzung von Maßnahmen im Gebiet, da eine Konzeption für größere, zusammenhängende Bereiche erstellt werden kann.

Der Vergleich von Oberflächenabfluss im Ist-Zustand mit der Häufigkeitsverteilung und der Prioritätenkarte macht deutlich, dass die Teileinzugsgebiete, die im Ist-Zustand einen hohen Abfluss (> 60 mm) zu verzeichnen haben, in der Prioritätenkarte mit erster Priorität ausgezeichnet werden. Dieser Zusammenhang zwischen Oberflächenabfluss und dem prozentualen Rückgang bestätigt sich mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,91 (Pearson). Diese Erkenntnis legt den Schluss nahe, dass die Ermittlung von Prioritäten unter ausschließlicher Betrachtung des Ist-Zustandes – ohne Bezugnahme auf die prozentuale Verringerung des Abflusses – zu dem gleichen oder einem sehr ähnlichen Ergebnis geführt hätte. Würde sich dies als grundsätzliche Feststellung bestätigen, könnte damit eine wesentliche Vereinfachung der Methodik erreicht werden, ohne die Gültigkeit des Ergebnisses zu mindern.

Neben diesen methodischen Folgerungen sind auch inhaltlich einige interessante Feststellungen abzuleiten. Eine Übersicht über einige wesentliche Merkmale der Prioritätenklassen bzw. des Gesamteinzugsgebiets gibt die Tabelle 21.

Eigenschaften		Priorität 1	Priorität 2	Priorität 3	gesamt
Anzahl		39	40	31	110
Fläche	absolut (km ²)	152	168	131	451
	durchschnittlich (km ²)	3,9	4,2	4,2	4,1
Gefälle	gesamt	5,8%	6,4%	10,1%	7,3%
	Anteil der Fläche: Hangklasse 0-2 %	34%	33%	26%	31%
	Anteil der Fläche: Hangklasse 2-15 %	65%	67%	68%	66%
	Anteil der Fläche: Hangklasse > 15 %	1%	1%	7%	3%
Nutzungen	Siedlungsanteil an der Gesamtfläche	7%	11%	23%	13%
	Ackeranteil an der Gesamtfläche	69%	47%	15%	45%
	Anteil von Grünland und Wiese	16%	21%	22%	20%
	Waldanteil an der Gesamtfläche	8%	20%	28%	18%
	Sonstiges (Brache, Gewässer)	0%	0%	11%	3%
Abflüsse	Gesamtabfluss	4982	4982	3791	13755
	Oberflächennaher Abfluss Ist-Zustand	2655	2154	1065	5874
	Oberflächennaher Abfluss Szenario 1	947	974	746	2667
	Oberflächennaher Abfluss Szenario 2	765	848	709	2322
	Rückgang des Oberflächenabflusses (Ist-Zustand - Szenario 1)	64%	55%	30%	55%
	Rückgang des Oberflächenabflusses (Ist-Zustand - Szenario 2)	71%	61%	33%	60%

Tabelle 21: Merkmale der Prioritätenklassen

Zunächst ist festzustellen, dass durch die konservierende Bodenbearbeitung der oberflächennahe Abfluss aus dem gesamten Untersuchungsgebiet um über die Hälfte

reduziert werden kann. Die Einführung einer Optimalform der Bodenbearbeitung (Szenario 2) bringt gegenüber einer gemäßigten Verbesserung nur einen hydrologischen Vorteil von 5%.

Interessant ist auch die Tatsache, dass bei einer Umsetzung der konservierenden Bodenbearbeitung lediglich in den Teileinzugsgebieten erster Priorität bereits ein Rückgang des Oberflächenabflusses aus dem gesamten Gebiet um etwa 30 % (Szenario 1: 29%, Szenario 2: 32%) eintreten würden (siehe auch Tabelle 16). Werden die Maßnahmen zusätzlich auch auf die Teileinzugsgebiete der 2. Priorität ausgedehnt, steigt das Verminderungspotenzial auf etwa 50 % (Szenario 1: 49%, Szenario 2: 54%). Diese Werte bestätigen die grundlegende Annahme, dass eine flächendeckende Umsetzung der Maßnahmen unter dem Aspekt der Effizienz nicht notwendig ist, sondern eine Prioritätensetzung erfolgen sollte.

Weiterhin können aus dieser Tabelle mögliche Zusammenhänge zwischen Prioritätenklasse bzw. Abfluss und sonstigen Merkmalen abgeleitet werden. Der auffälligste Zusammenhang besteht zwischen dem Ackeranteil und der Abflusswirksamkeit. Prioritätenklasse 1 weist einen deutlich höheren Ackeranteil als Klasse 2 oder 3 auf. Diesen Zusammenhang bestätigen ein sehr hoher Korrelationskoeffizient von 0,96 (Ackerfläche – Oberflächenabfluss) bzw. 0,94 (Ackerfläche – Rückgang des Oberflächenabflusses) sowie die folgenden Abbildungen.

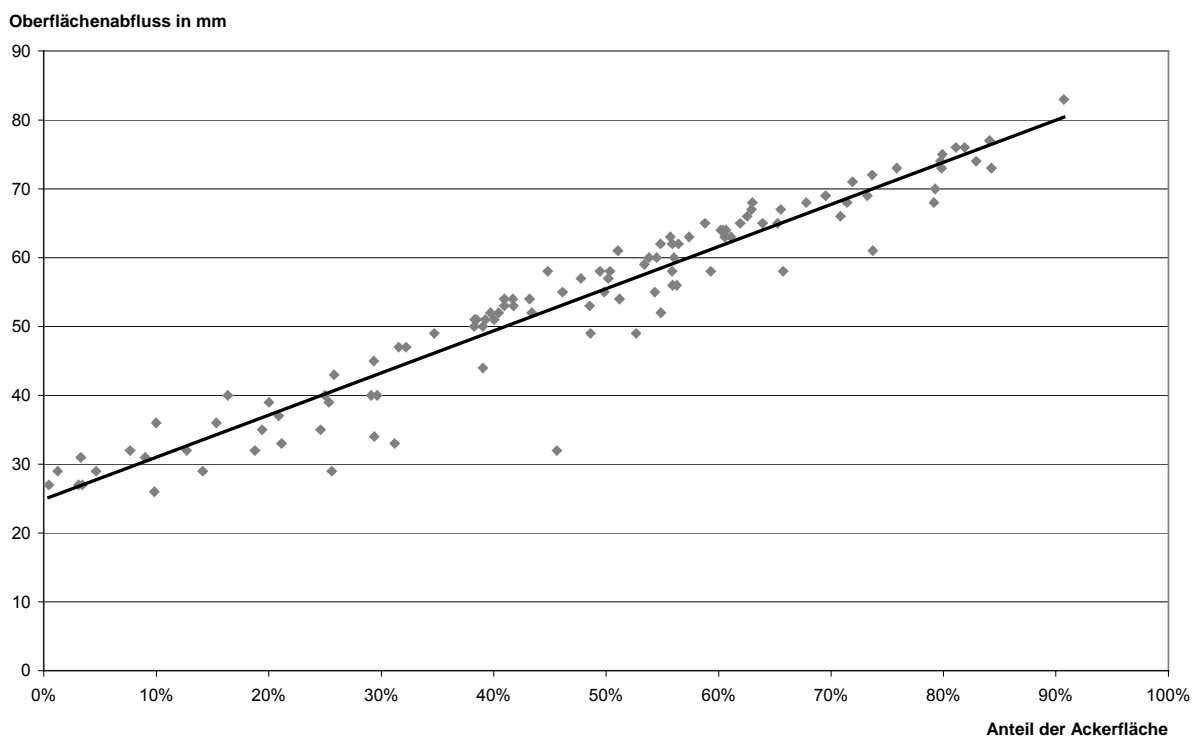


Abbildung 47: Zusammenhang zwischen Oberflächenabfluss und Anteil der Ackerfläche

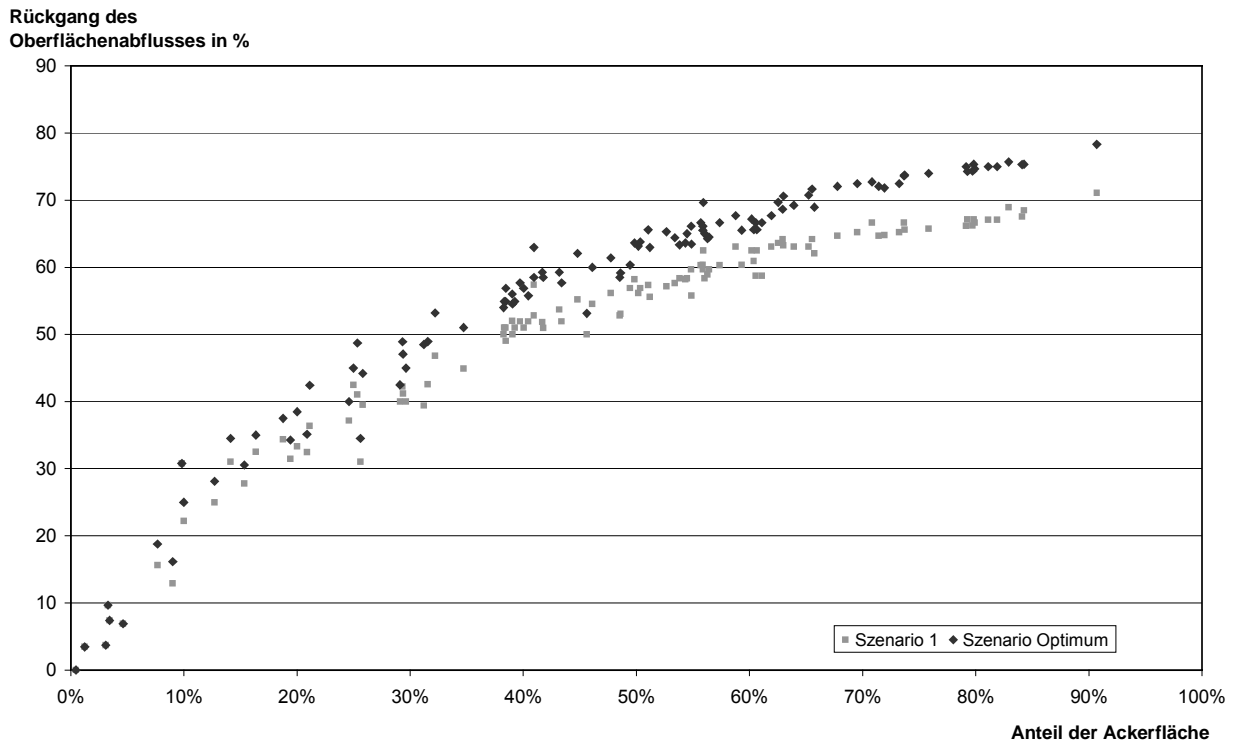


Abbildung 48: Zusammenhang zwischen Rückgang des Oberflächenabflusses und Anteil der Ackerfläche

Dieser signifikante Zusammenhang ist bedingt durch die Modellannahmen. Der Ackerfläche wurde ein begründet hoher Abflusswert zugewiesen, so dass diese sich letztlich als entscheidender Faktor für die Abflussbildung des Teileinzugsgebiets erweist. Andere denkbare Faktoren wie der Waldanteil oder das Gefälle treten gegenüber dem Ackeranteil in den Hintergrund. Zwar wirkt der Waldanteil in die erwartungsgemäße Richtung (je mehr Wald, desto weniger Abfluss), jedoch ist der Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,36 nicht sehr ausgeprägt. Das durchschnittliche Gefälle eines Teileinzugsgebietes verliert hier fast völlig an Bedeutung, kehrt sich sogar ins Gegenteil um: Je höher das Gefälle, desto niedriger der Oberflächenabfluss. Diese zunächst erstaunliche Feststellung dürfte in diesem Areal in dem höheren Waldanteil bei zunehmendem Gefälle begründet liegen. Die genannten Zusammenhänge bestehen in dieser Ausprägung jedoch nur bei dem Oberflächenabfluss. Beim Gesamtabfluss verliert die Ackerfläche stark an Bedeutung (Korrelationskoeffizient von nur 0,17, vgl. auch Abbildung 49), während der Einfluss des Waldes zunimmt (Koeffizient von 0,64). Der Einfluss des Gefälles bleibt unbedeutend.

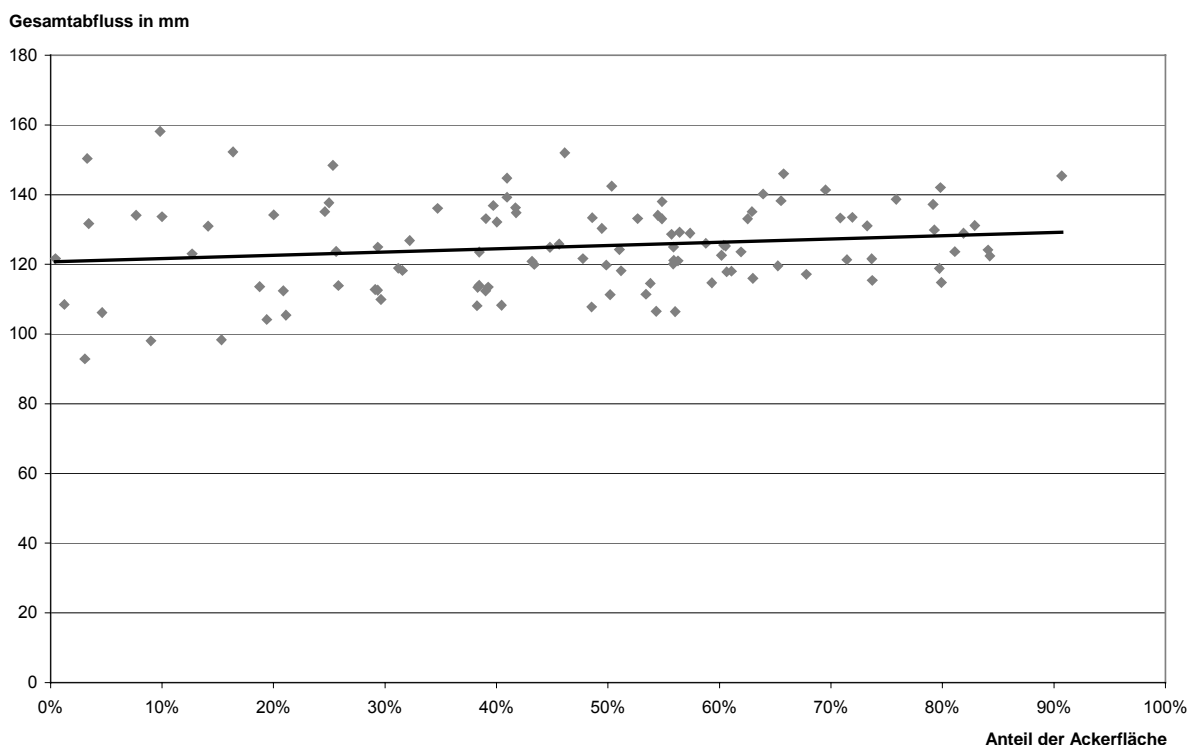


Abbildung 49: Zusammenhang zwischen Gesamtabfluss und Anteil der Ackerfläche

Insgesamt zeigt sich, dass – im Rahmen der Modellannahmen und der Aussagekraft des Modells – die Ergebnisse interessante Feststellungen hinsichtlich des Zusammenhangs von bestimmten Merkmalen der Teileinzugsgebiete wie etwa Nutzungsarten und den Gebietsabflüssen ermöglichen. Der Anteil der Ackerfläche an der Gesamtfläche der Teileinzugsgebiete erweist sich als eindeutig dominierender Faktor.

7.2.4 Verortungskonzept

Im Folgenden werden die Kriterien zur Verortung der wichtigsten Maßnahmen des dezentralen, vorbeugenden Hochwasserschutzes anhand von Beispielgebieten aus dem Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße dargestellt. Die Teileinzugsgebiete entstammen gemäß der oben durchgeführten Abgrenzung den Prioritätenklassen 1 oder 2. Die Verortung erfolgt mit Hilfe des Geographischen Informationssystems ArcView, in dem die digitalisierten Flächeninformationen zueinander in Beziehung gesetzt werden können.

Siedlungswasserwirtschaftliche Maßnahmen - wie Flächenversickerung oder Mulden-Rigolen Systeme verschiedener Ausgestaltung - können im betrachteten Fallbeispiel bei der Verortung nicht berücksichtigt werden, weil genaue Aussagen über die Siedlungsdichte, den Versiegelungsgrad, bestehende Abwassersysteme etc. nicht flächendeckend digitalisiert vorliegen. In diesem Bereich ist eine weitere Bestandsaufnahme vor Ort und eine Entscheidung im Einzelfall erforderlich (vgl. Kapitel 4). Die konservierende Bodenbearbeitung bedarf, obwohl sie Schwerpunkt dieses Projektes ist, keiner weiteren – über die in Kapitel 7.2.2 erfolgte Bildung von prioritären Teileinzugsgebietsklassen hinausgehenden – räumlichen

Konkretisierung, da sie innerhalb der prioritären Teileinzugsgebiete flächendeckend auf der gesamten ackerwirtschaftlichen Nutzfläche umgesetzt werden soll. Darüber hinaus existieren keine Verortungs- oder Ausschlusskriterien in Form einer weiteren Binnendifferenzierung für konservierende Bodenbearbeitung.

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass im Rahmen des Projektes keine Aussagen über die Wirksamkeit der folgenden aufgeführten Maßnahmen im Vergleich getroffen werden können.

7.2.4.1 Flurdurchgrünung

Die landwirtschaftliche Nutzfläche im Einzugsgebiet der Neiße ist zum großen Teil stark ausgeräumt und nur sehr wenig mit Feldgehölzen und Ackerrandstreifen strukturiert. Diese Tatsache kann aus der Nutzungskartierung des Digitalen Landschaftsmodells abgeleitet werden, die neben der Ackerfläche, Grün- und Waldbereichen auch die Wegeführung enthält. Es ist jedoch anzumerken, dass die Validität der Ableitung der Schlaggröße und der Strukturierung der Landschaft aus dem Wegenetz einer Überprüfung bedarf, denn es ist nicht geklärt, inwiefern das dargestellte Wegenetz aktuell ist, ob es gerade auf Ackerflächen vollständig ist und inwiefern kleinere, nicht digitalisierte Grünbereiche beispielsweise als Wegbegrünung existieren. Dennoch kann der Grad der bestehenden Flurdurchgrünung annäherungsweise über die genannten und in der Abbildung dargestellten Kriterien ermittelt werden.

Der Kartenausschnitt zeigt einen Bereich aus den Teileinzugsgebieten Triebenbach (Prioritätenklasse 1). Die reinen Ackerflächen erreichen hier zum Teil eine Ausdehnung von bis zu zwei km². Die rechte Abbildung zeigt eine mögliche Untergliederung und Strukturierung der Fläche mit Flurgehölzen und einer Begrünung der Wege.

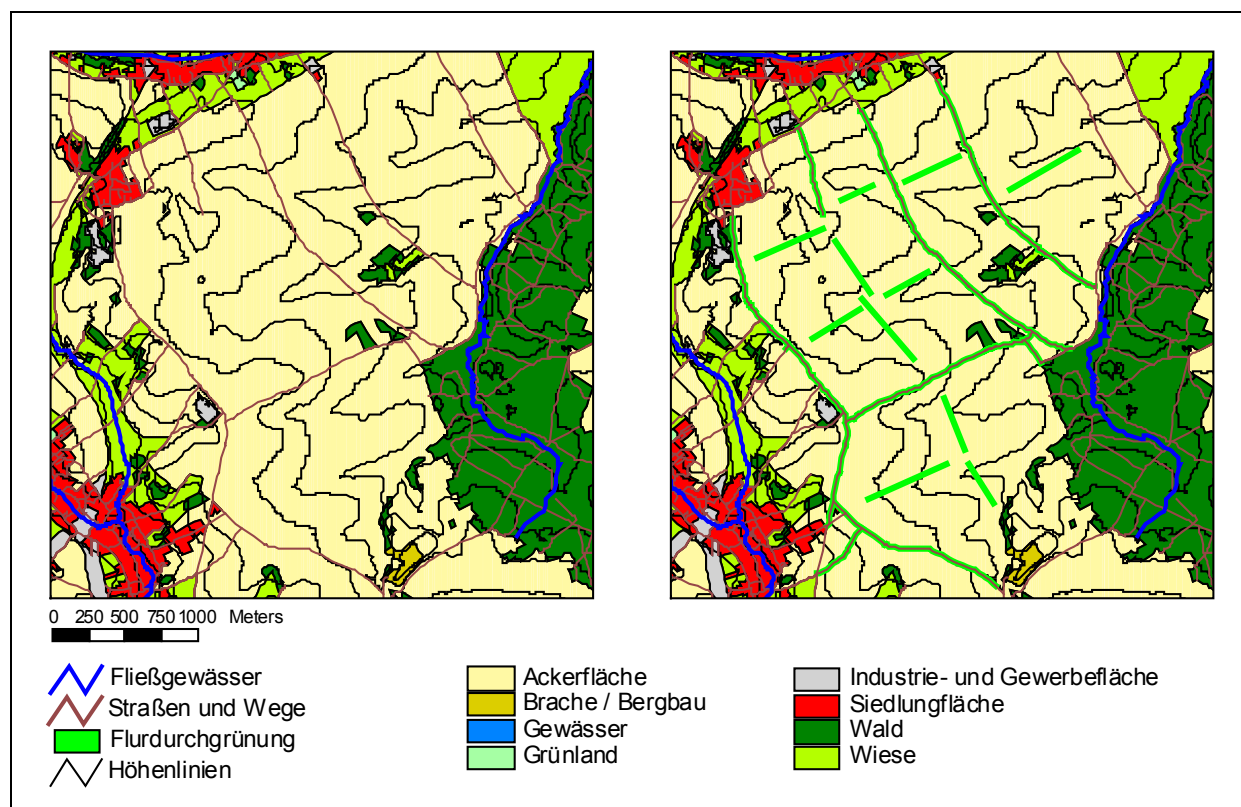


Abbildung 50: Flurdurchgrünung

7.2.4.2 Anlage von Wald und Grünflächen

Die landwirtschaftliche Fläche hat sich im Zuge des technischen Fortschritts und einer auf die Nutzbarkeit ausgerichteten Entwicklung in sensiblere Bereiche ausgedehnt und deren Retentionskapazität verringert. Dies sind insbesondere Höhen- und Hanglagen sowie ehemalige Feuchtgebiete. Letztere können mit dem vorliegenden Datenmaterial nur schwer und sehr indirekt ermittelt werden, Höhen- und Hanglagen sind dagegen durch das Digitale Geländemodell und die daraus ableitbaren Höhenlinien und Hangklassen einfach zu erfassen.

Der dargestellte Bereich liegt in der Nähe der Mündung der Pließnitz in die Neiße und der Ortschaft Kiesdorf und beinhaltet Teile der Einzugsgebiete "An der Halde" und „Pließnitz-Mündung“ (Prioritätenklasse 2). Der Ausschnitt zeigt deutlich eine ackerwirtschaftliche Nutzung bei hohem Gefälle. Zur Verbesserung der Situation wird eine Arrondierung der Waldfläche durch Aufforstung oder die Anlage von Grünbereichen vorgeschlagen.

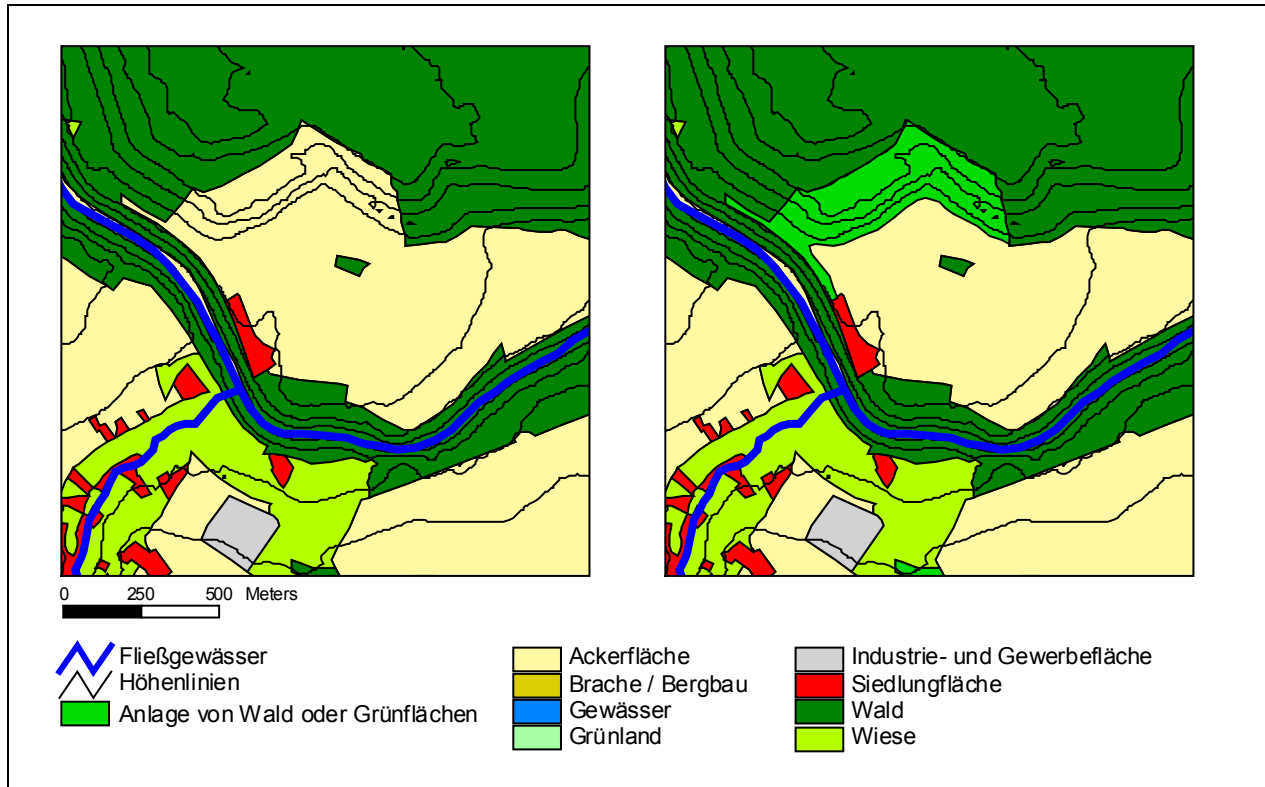


Abbildung 51: Anlage von Wald und Grünflächen

7.2.4.3 Verbauung von Leitlinien

Leitlinien sind in erster Linie Bereiche, an denen das Wasser topographisch bedingt von den umliegenden Flächen zusammen und hangabwärts fließt, also schluchtförmige Vertiefungen in der Geländeoberfläche. In diesen Bereichen ist es wichtig, das oberflächlich abfließende Wasser über eine retentionswirksame Vegetation zurückzuhalten und den Abflussvorgang zu verzögern. Die Maßnahme ist umso bedeutsamer, je größer das Gefälle ist. Die Leitlinien können über die Topographie des Digitalen Geländemodells als so genannte Fließakkumulationswege ermittelt und dargestellt werden.

Die Leitlinien zum in dem Ausschnitt südlich fließenden Gewässer im Teileinzugsgebiet Buschwasser (Prioritätenklasse 1) sind bereits vorbildlich begrünt, die Leitlinien des nördlichen Gewässers dagegen sind ackerwirtschaftlich genutzt, so dass das Niederschlagswasser ungehindert entlang der Leitlinien ins Gewässer fließen kann. Der Vorschlag beinhaltet deshalb auch eine Begrünung der Leitlinien des nördlichen Gewässers.

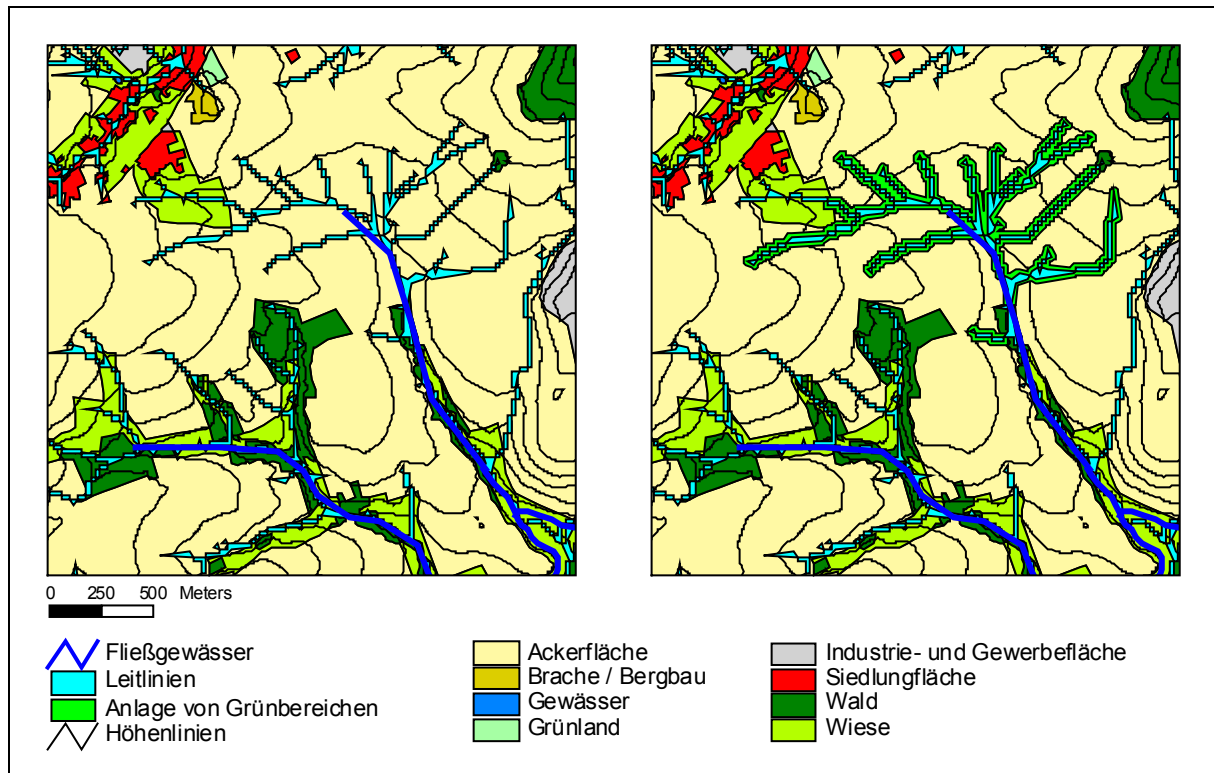


Abbildung 52: Verbauung von Leitlinien

7.2.4.4 Gewässerrandstreifen

Kleinere Gewässer und Bäche, die durch landwirtschaftliche Flächen fließen, sind häufig von gewässerbegleitenden Grünelementen befreit. Diese sind jedoch in der Lage, oberflächlich von der Ackerfläche in das Gewässer fließendes Regenwasser zurückhalten und damit Hochwasser zu vermindern und zu strecken. Grünbereiche und Gewässer sind im Digitalen Landschaftsmodell enthalten.

In diesem Teileinzugsgebiet Niederoberwitz Süd (Prioritätenklasse 1) zeigt sich hinsichtlich der Begrünung von Gewässern ein ähnliches Bild wie bei den Leitlinien: Der nördliche Bach ist im Gegensatz zu dem südlicheren nicht mit Gewässerrandstreifen begrünt. In der rechten Abbildung ist stark schematisiert eine mögliche Begrünung dargestellt.

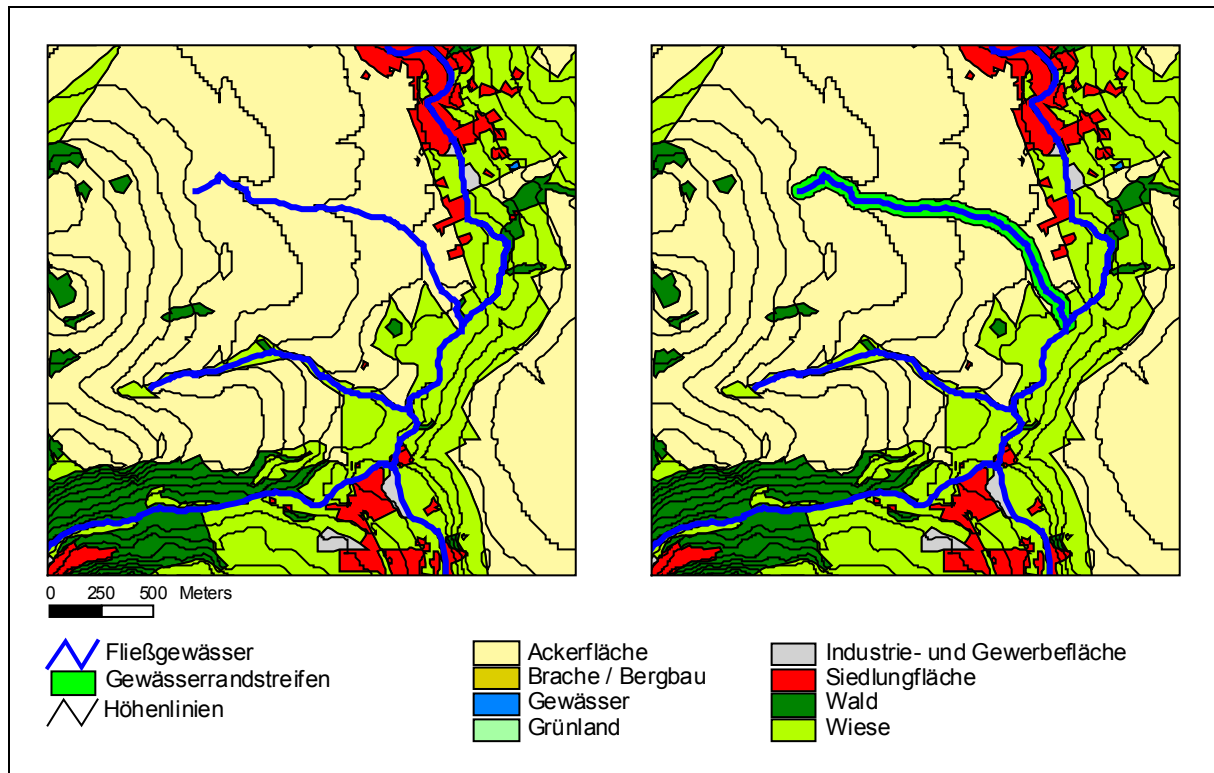


Abbildung 53: Gewässerrandstreifen

7.2.4.5 Wegeföhrung am Hang

In hängigen Lagen ist die Wegeföhrung besonders wichtig, weil hangabwärts, mehr oder weniger im Winkel von 90 Grad zu den Höhenlinien verlaufende Wege wie ein Kanal wirken, in denen das Wasser schnell und ungehindert zum Gewässer fließt. Landwirtschaftliche Wege sollten deshalb besonders bei hohem Gefälle stärker hangparallel, in Form von Serpentinaen verlaufen. Die Wegeföhrung ist im Einzelfall mit dem Nutzen auf der einen Seite und mit dem Aufwand des Wegebbaus und der Bewirtschaftungsfähigkeit der landwirtschaftlichen Flächen auf der anderen Seite abzuwägen. Die Wegeföhrung kann aus dem Digitalen Landschaftsmodell, das Gefälle aus dem Digitalen Geländemodell ersehen werden. Die Stärke der Versiegelung der Wege liegt nicht in digitalisierter Form vor.

Der Ausschnitt aus dem Teileinzugsgebiet Großhenndorf (Prioritätenklasse 2) zeigt beispielhaft eine hangabwärts gerichtete Wegeföhrung, die in der rechten Abbildung stark schematisiert durch Serpentinaen ersetzt ist.

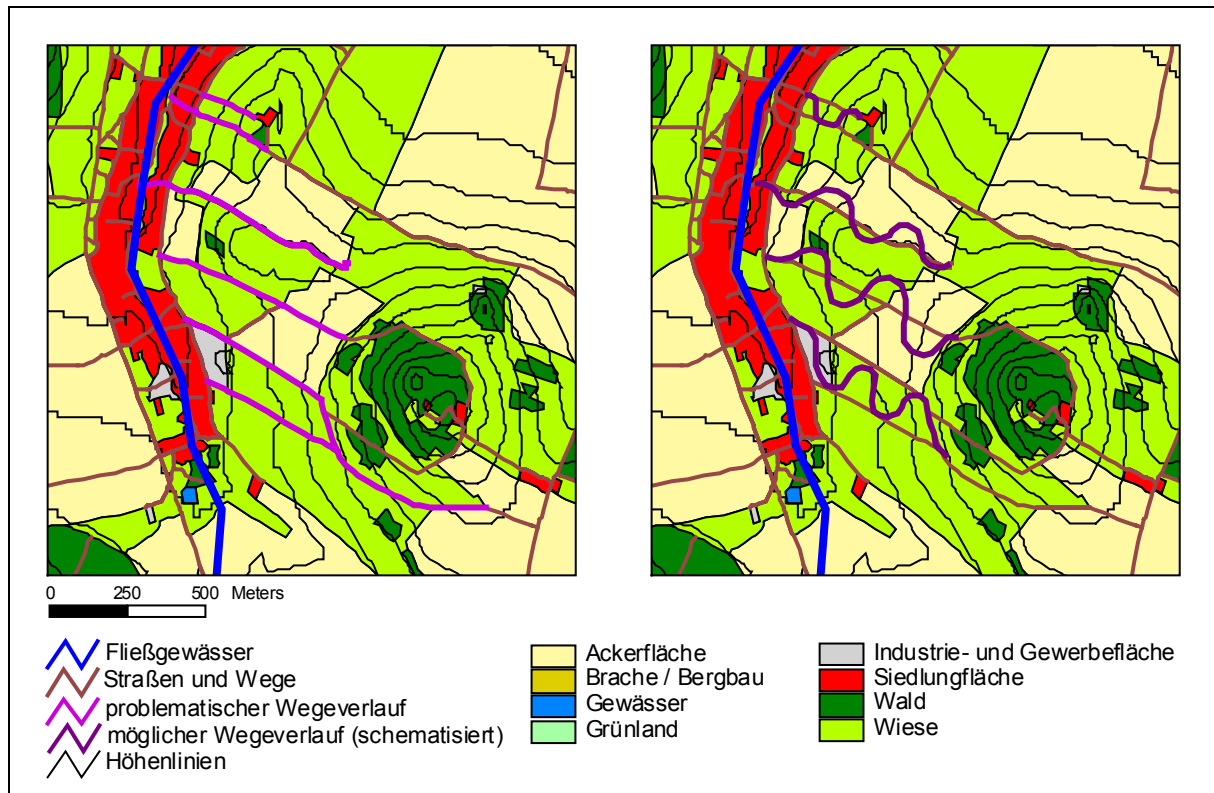


Abbildung 54: Wegeführung am Hang

7.2.4.6 Bewertung der Verortungsmethodik

Mit Hilfe der dargestellten Methodik lassen sich die gewählten Maßnahmen im Einzugsgebiet verorten. Leider gibt es kaum Möglichkeiten, die Verortung zu automatisieren. Zwar kann man bei bestimmten Maßnahmen Abfragen zu Überschneidungen bestimmter Merkmale vornehmen. Dies ist beispielsweise möglich für die Kombinationen hohes Gefälle - Ackerfläche (Anlage von Wald und Grünflächen) oder Fließakkumulationswege und Ackerfläche (Verbauung von Leitlinien). Jedoch ist in der Regel eine Beurteilung und Nachbearbeitung durch die Bearbeitenden erforderlich. Zudem sind bestimmte Bedingungen nur sehr schwer oder gar nicht automatisch bzw. automatisiert/ schematisiert abzufragen. Dazu gehört etwa der hangabwärtsgerichtete Verlauf von Wegen. Aufgrund der relativ zeitaufwendigen Verortung von Maßnahmen per Hand ist die Methodik in diesem Detaillierungsgrad nur für Gebiete mit begrenzter Ausdehnung möglich. Hinzu kommt die Frage, inwiefern die Datengrundlage die tatsächliche Situation im Einzugsgebiet abbildet. Neben der Problematik der Aktualität spielt auch die Vollständigkeit der Daten eine bedeutende Rolle. So wurde bereits bei der Flurdurchgrünung darauf hingewiesen, dass es fraglich ist, ob gerade Merkmale wie einzelne Strukturelemente in der Landschaft oder die Wegebegründung digital abgebildet sind. Aus diesen Gründen ist es sinnvoll, die digital vorliegenden Daten mit Hilfe einer Erhebung vor Ort zu validieren, zu aktualisieren und zu ergänzen.

8 Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt geht von der These aus, dass es sowohl im Bereich der Landwirtschaft wie der Siedlungswasserwirtschaft ein bisher ungenutztes Potential zur Hochwasserreduzierung gibt, dessen künftige Nutzung zur Lösung der Hochwasserprobleme beitragen kann. Dieser These wird – ausgehend von dem Problem des Hochwasserschutzes der Stadt Ostritz und des Kloster Marienthals – am Beispiel der Lausitzer Neiße nachgegangen. Die Untersuchungen konzentrieren sich dabei schwerpunktmäßig auf die Frage, in welchem Maße Hochwasserabflüsse durch konservierende (pfluglose) Bodenbearbeitung der Ackerflächen vermindert werden können. Die Bearbeitung der Frage, welchen Beitrag die Siedlungswasserwirtschaft zu einem vorbeugenden Hochwasserschutz leisten kann, wird beispielhaft für das Gebiet der Lausitzer Neiße anhand der Stadt Zittau untersucht.

Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis einer intensiven Zusammenarbeit zwischen den fünf Partnern des Projektes. Nach den Einleitungskapiteln 1 und 2 werden im dritten Kapitel die bodenkundlichen und landwirtschaftlichen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes – bezogen auf den deutschen Teil des Einzugsgebietes der Lausitzer Neiße - dargestellt (der tschechische und polnische Teil musste wegen Datenmangel ausgespart werden).

Kapitel 4 enthält die Untersuchungen bezüglich der Stadt Zittau. Die dargestellte Vorgehensweise ist so abgefasst, dass sie als Musterlösung einer künftigen naturnahen und damit hochwasserreduzierenden Regenwasserbewirtschaftung auch für andere Städte und Gemeinden dienen kann. Zu betonen ist, dass die Gemeinden bei Anwendung des vorgeschlagenen Weges gegenüber den bisherigen konventionellen Lösungen Kosten sparen können.

Kapitel 5 enthält im besonderen die Ergebnisse von Feldversuchen zur Infiltrationsfähigkeit konservierend bearbeiteter Böden im Vergleich zu konventionellen Bearbeitung. Die verbesserte Infiltrationsfähigkeit konservierend bearbeiteter Böden wird bestätigt und quantifiziert. Es werden Abhängigkeiten von der Fruchtfolge, der Jahreszeit und der Vorfeuchte festgestellt.

Die vorgenannten Ergebnisse dienen dazu, Hochwasserereignisse mit einem Niederschlag-Abfluss-Modell zu simulieren und zwar einerseits für den Ist-Zustand (ohne konservierende Bodenbearbeitung) und andererseits für künftige Zustände mit unterschiedlich großen Anteilen konservierend bearbeiteter Böden. Die in Kapitel 6 dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf drei unterschiedlich große Einzugsgebiete einschließlich der Lausitzer Neiße selbst. Bezogen auf die Lausitzer Neiße in Höhe der Stadt Ostritz ergeben die Berechnungen z.B., dass durch eine konservierende Bodenbearbeitung allein im deutschen Teil des Einzugsgebietes die Abflussfülle des Gesamtgebietes bei ausgeprägten Hochwasserereignissen in einer Größenordnung von 7 % reduziert werden. Dieses ist ein signifikantes Ergebnis, mit dem die

im Bereich Ostritz geplanten Eindeichungen und der damit zusammenhängende Verlust an Überschwemmungsfläche mehr als kompensiert werden kann.

Kapitel 7 schließlich stellt die Untersuchungsergebnisse in einen Zusammenhang mit der Raumordnungsplanung. Dabei werden einerseits die rechtlichen und verwaltungstechnischen Aspekte vorbeugender Hochwasserschutzmaßnahmen in Deutschland Tschechien und Polen dargestellt und andererseits für das hier untersuchte Einzugsgebiet ein raumordnerisches Konzept erarbeitet.

Dem Bericht ist ein umfangreiches Literaturverzeichnis beigefügt.

9 Literatur

- AG Bodenkunde (1982):** *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 3. Auflage, Schweizerbart, Stuttgart.
- AG Bodenkunde (1994):** *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 4. Auflage, Schweizerbart, Stuttgart.
- Angers, D.A.; Bolinder, M.A.; Carter, M.R.; Gregorich, E.G.; Voroney, R.P., et al. (1997):** "Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada.", *Soil Till. Res.* (Heft 41), S. 191-201.
- Assmann, A. (1996):** "Dezentraler Hochwasserschutz als geeignete Alternative zu großen Rückhaltebecken?", *Bürger im Staat* (Heft1), S. 60-64.
- ATV (1990):** *Arbeitsblatt 138, Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser*, GFA, St. Augustin.
- ATV (1992):** *Arbeitsblatt 128, Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenwasserentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen*, GFA, St. Augustin.
- ATV (1998):** "ATV-Gewässergütemodell.", Version 1.2, Hennef.
- ATV-DVWK-Arbeitsgruppe ES 2.6 (2000):** "Abkopplungsmaßnahmen in der Stadtentwässerung.", *Korrespondenz Abwasser* (Heft 11).
- Auerswald, K. & Haider, J. (1996):** "Runoff curve numbers for small grain under German cropping conditions.", *J. Environ. Mag.* (Heft 47), S. 223-228.
- Auerswald, K.; Kainz, M.; Schröder, D. & Martin, W. (1992):** "Comparison of German and Swiss rainfall simulators-Experimental setup.", *Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde* (Heft 155).
- Beare, M.H.; Cabrera, M.L.; Hendrix, P.F. & Coleman, D.C. (1994):** "Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils.", *Soil Sci. Soc. Am. J.* (Heft 58), S. 777-786.
- Beven, K.J. & Germann, P.F. (1982):** "Macropores and water flow in soils.", *Water Resource Research*, 18 (Heft 5), S. 1311-1325.
- BFG (1997):** *Hochwasser - Gedanken über Ursachen und Vorsorge aus hydrologischer Sicht*, B. f. Gewässerkunde, BFG 1022, Koblenz.
- Brauweiler, H.-C. & Kramer, M. (2000):** *Gewässerschutz- und Hochwasserschutzrecht. Ein Vergleich zwischen Deutschland, Polen und Tschechien*, Wiesbaden.
- Bronstert, A. (1994):** *Modellierung der Abflussbildung und der Bodenwasserdynamik von Hängen*, Mitteilungen des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe,, Nr. 46, Karlsruhe.
- Bronstert, A. & Maurer, T. (1994):** "Modellierung des Wassertransports auf Hängen und in kleinen Einzugsgebieten.", Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, 18. Fortbildungslehrgang Hydrologie: Niederschlag-Abfluß-Modell für kleine Einzugsgebiete und ihre Anwendung, 18. -23. September 1994, Karlsruhe.
- Bruce, R.R.; Langdale, G.W.; West, L.T. & Miller, W.P. (1992):** "Soil surface modification by biomass inputs affecting rainfall infiltration.", *Soil Sci. Soc. Am. J.* (Heft 56), S. 1614-1620.
- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) (2001a):** *Stellungnahmen des BUND zum Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege und zur Anpassung anderer Rechtsvorschriften (BnatSchGNeuregG) - März 01.*

- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) (2001b):** *Stellungnahmen des BUND zum Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege und zur Anpassung anderer Rechtsvorschriften (BnatSchGNeuregG) - Juni 01.*
- Carter, M.R.; Angers, D.A. & Topp, G.C. (1999):** "Characterizing equilibrium physical condition near the surface of a fine sandy loam under conservation tillage in a humid climate.", *Soil Sci.* (Heft 164), S. 101-110.
- Carter, M.R.; Mele, P.M. & Steed, G.R. (1994):** "The effects of direct drilling and stubble retention on water and bromide movement and earthworm species in a duplex soil.", *Soil Sci.* (Heft 157), S. 224-231.
- Chan, K.Y. (2001):** "An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity-implications for functioning in soils.", *Soil Till. Res.* (Heft 57), S. 179-191.
- Clariant GmbH Deutschland (1998):** *Sicherheitsdatenblatt gemäß 91/155/EWG. Vitasyn-Blau AE 85.*
- Dabohorský, M. (2000):** *Wassergebietsschutz in Tschechien*, M. Kramer and H.-C. Brauweiler, Gewässerschutz- und Hochwasserschutzrecht. Ein Vergleich zwischen Deutschland, Polen und Tschechien S. 105-108, Wiesbaden.
- Dalal, R.C.; Henderson, P.A. & Grasby, J.M. (1991):** "Organic matter and microbial biomass in a vertisol after 20 years of zero-tillage.", *Soil Biol. Biochem.* (Heft 23), S. 435-441.
- Darwin, C. (1881):** *Die Bildung der Ackererde durch die Thätigkeit der Würmer*".
- Demuth, N. & Hiltbold, A. (1993):** "Preferential Flow : Eine Übersicht über den heutigen Kenntnisstand.", *Pflanzenernährung und Bodenkunde* (Heft 156), S. 479-484.
- Deutscher Verband für Landschaftspflege e.V. (DVL) (2001):** *Position des Deutschen Verbandes für Landschaftspflege e.V. (DVL) zum Referentenentwurf vom 02.02.2001 zur Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes - März 2001.*
- DIN 19 683 (1973):** *Bodenuntersuchungsverfahren im landwirtschaftlichen Wasserbau. Physikalische Laboruntersuchungen*, Fachnormenausschuß Wasserwesen im deutschen Normenausschuß, Berlin und Köln.
- DIN 19 683 (1973):** *Teil 2, Physikalische Laboruntersuchungen - Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat*, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 19 683 (1973):** *Teil 9, Physikalische Laboruntersuchungen - Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in wassergesättigten Stechzylinderproben*, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 19 683 (1973):** *Teil 12, Physikalische Laboruntersuchungen - Bestimmung der Rohdichte*, Beuth Verlag, Berlin.
- Dixon, W.J. & Mood, A.M. (1946):** "The statistical sign test.", *J. Amer. Statist. Assoc.* (Heft 41), S. 557-566.
- Douglas, J.T. (1986):** "Macroporosity and permeability of some soil cores from England and France.", *Geoderma* (Heft 37), S. 221-231.
- DVWK (1999):** *Hochwasserabflüsse*, DVWK Schriften, Heft 124, Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- DWD (1997):** *KOSTRA-Atlas*, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- Edwards, W.M.; Norton, L.D. & Redmont, C.E. (1988):** "Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil.", *Soil Sci. Soc. Am. J.* (Heft 52), S. 483-487.

- Edwards, W.M.; Shipitalo, M.J.; Owens, L.B. & Dick, W.A. (1993):** “Factors affecting preferential flow of water and atrazine through earthworm burrows under continuous no-till corn.”, *J. Environ. Qual.* (Heft 22), S. 453-457.
- Edwards, W.M.; Shipitalo, M.J.; Owens, L.B. & Norton, L.D. (1989):** “Water and nitrate movement in earthworm burrows within long-term not-till cornfields.”, *J. Soil Water Conserv.* (Heft 44), S. 240-243.
- Edwards, W.M.; Shipitalo, M.J.; Owens, L.B. & Norton, L.D. (1990):** “Effects of *Lumbricus terrestris* L. burrows on hydrology of continuous no-till corn fields.”, *Geoderma* (Heft 46), S. 73.
- Ehlers, W. (1975):** “Observation on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil.”, *Soil Sci.* (Heft 119), S. 242-249.
- Elliot, E.T. (1986):** “Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils.”, *Soil Sci. Soc. Am. J.* (Heft 50), S. 627-633.
- Flury, M. & Flühler, H. (1994):** “Brilliant Blue FCF as a dye tracer for solute transport studies—a toxicological overview.”, *J. Environ. Qual.* (Heft 23), S. 1108-1112.
- Flury, M. & Flühler, H. (1995):** “Tracer Characteristics of Brilliant Blue FCF.”, *Soil Sci. Soc. Am. J.* (Heft 59), S. 22-27.
- Franzluebbers, A.J.; Hons, F.M. & Zuberer, D.A. (1995):** “Soil organic carbon, microbial biomass, and mineralize carbon and nitrogen in sorghum.”, *Soil Sci. Soc. Am. J.* (Heft 59), S. 460-466.
- Frielinghaus, M.; Höflich, G.; Joschko, M.; Rogasik, H. & Schäfer, H. (1997):** “Auswertung eines Langzeitexperimentes zur konservierenden Bodenbearbeitung auf Sandböden und Einschätzung des Erfolgs.”, *Archiv Acker- Pflanzenbau. Bodenkd.* (Heft 41), S. 383-402.
- Gale, W.J.; Cambardella, C.A. & Bailey, T.B. (2000):** “Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates.”, *Soil Sci. Soc. Am. J.* (Heft 64), S. 201-207.
- Gale, W.J.; Cambardella, C.A. & Bailey, T.B. (2000):** “Surface residue- and root-derived carbon in stable and unstable aggregates.”, *Soil Sci. Soc. Am. J.* (Heft 64), S. 196-201.
- GKW Ingenieure (1992):** *Gesamtentwässerungsplan Kreisstadt Zittau*, Dresden.
- Gleisenstein, J. (2001):** “Umweltsituation in Polen: Frische Brise oder dicke Luft?”, *RaumPlanung* (Heft 94), S. 16-20.
- Hartge, K.H. & Horn, R. (1992):** *Die physikalische Untersuchung von Böden*, 3. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart.
- Hassel, J.M. & Richter, G. (1992):** “Ein Vergleich deutscher und schweizerischer Regensimulatoren nach Regenstruktur und kinetischer Energie.”, *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* (Heft 155).
- Heisler, C.; Rogastik, H.; Brunotte, J. & Joschko, M. (1998):** “Konservierende Bodenbearbeitung und biologische Aktivität.”, *Landbauforschung Völkenrode* (Heft 4), S. 199-212.
- Hennings, V. (1994):** *Methodendokumentation Bodenkunde*, Geologisches Jahrbuch, Reihe F, 31, Schweizerbart, Stuttgart.
- Hoisl, R. (1995):** *Ländliche Neuordnung*, Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), Handwörterbuch der Raumordnung, Hannover.
- House, G.J. & Parmalee, R.W. (1985):** “Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems.”, *Soil Till. Res.* (Heft 5), S. 351-360.

- Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft (1993):** *Hochwasserschutz Pließnitzgemeinden*, im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden.
- Hydrotec (1999):** *"Anwenderhandbuch zum Niederschlag-Abfluss-Modell NASIM."*, 2.7.4, Hydrotec GmbH, Aachen.
- Institut WAR (2001):** "Protokoll des Experten-Workshops des Instituts WAR an der Technischen Universität Darmstadt.", Fachgebiet Umwelt- und Raumplanung, *"Erfahrungsaustausch zum Hochwasserschutz in der Regionalplanung"*, 28. Mai 2001, TU Darmstadt.
- InVeKos (2001):** *Daten zur Landnutzung im Landkreis Löbau-Zittau. Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem.*
- IPS (1998):** *Vergleich des deutschen und niederländischen Standards, der Technik und der Kosten bei der Niederschlagswasserableitung und Behandlung am Beispiel der Stadt Gronau*, Ministerium für Umwelt, Raumplanung und Landschaftsentwicklung, Nordrhein-Westfalen.
- Irmer, U.; Markard, C. & Rechenberg, J. (2000):** "Die neue Wasserrahmenrichtlinie (Teil V).", *Wasserwirtschaft - Abwassertechnik* (Heft 4), S. 36-37.
- Jacobitz, K. (1994):** *Pflege und Schutz der Gewässer - gemeinsame Aufgabe von Raumplanung und wasserwirtschaftlicher Fachplanung*, H. J. u. a. Domhardt, Raum- und Umweltplanung im Wandel. Festschrift für H. Kistenmacher, S. 267-279, Selbstverlag, Univ. Kaiserslautern, Fachgebiet Regional- und Landesplanung, Kaiserslautern.
- Joklova, D. (2000):** *Transfer und Anwendung von EU-Direktiven in der Tschechischen Republik*, M. Kramer and H.-C. Brauweiler, Gewässerschutz- und Hochwasserschutzrecht. Ein Vergleich zwischen Deutschland, Polen und Tschechien, S. 33-38, Wiesbaden.
- Karlen, D.L.; Wollenhaupt, N.C.; Erbach, D.C.; Berry, E.C.; Svan, J.B., et al. (1994):** "Long-term tillage effects on soil quality.", *Soil Till. Res.* (Heft 32), S. 313-327.
- Kennedy, V.C.; Kendall, C.; Zellweger, G.W.; Wyermann, T.A. & Avanzino, R.J. (1986):** "Determination of the components of stormflow using water chemistry and environmental isotopes, Mattole River Basin, California.", *Journal of Hydrology* (Heft 84), s. 107-140.
- Kladivko, E.J. (2001):** "Tillage systems and soil ecology.", *Soil Till. Res.* (Heft 61), S. 61-67.
- Kleissen, F.M.; Weather, H.S.; Beck, M.B. & Harriman, R. (1989):** "Conservative mixing of water sources : Analysis of the behaviour of the Allt A`Mharcaidh catchment.", *Journal of Hydrology* (Heft 116), S. 365-374.
- Kramer, M.u.a. (2000):** *Regelungen zum Hochwasserschutz an der Oder - Ein trinationaler Rechtsvergleich der Oder-Anliegerstaaten Deutschland, Polen und Tschechien*, M. Kramer and H.-C. Brauweiler, Gewässerschutz- und Hochwasserschutzrecht. Ein Vergleich zwischen Deutschland, Polen und Tschechien, S. 173-357, Wiesbaden.
- Krein, A. (2000):** "Der Einfluss des Bodens auf die Wellenform und den Stofftransport bei Hochwasser in kleinen Einzugsgebieten.", *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* (Heft 1), S. 19-27.
- KTBL (1998):** *Arbeitspapier 266, Bodenbearbeitung und Bodenschutz - Schlußfolgerungen für die gute fachliche Praxis*, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL).

- Kubicek, M. (2000):** *Übersicht zur Gesetzgebung der Wasserwirtschaft in Tschechien*, M. Kramer and H.-C. Brauweiler, Gewässerschutz- und Hochwasserschutzrecht. Ein Vergleich zwischen Deutschland, Polen und Tschechien, S. 83-99, Wiesbaden.
- Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (1997):** *Dokumentation zu den digitalen Daten der Dokumentationsblätter A der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK)*, Kleinmachnow.
- Landesumweltamt Brandenburg (1995):** *Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 1990 - Elbegebiet Teil 2.*
- Lavelle, P. (2000):** "Ecological challenges for soil science.", *Soil Sci.* (Heft 1651), S. 73-86.
- Lecher, K.; Lühr, H.-P. & Zanke, U.C.E. (2001):** *Taschenbuch der Wasserwirtschaft*, Parey Buchverlag, Berlin.
- Lindstrom, M.J. & Onstad, C.A. (1984):** "Influence of tillage systems on soil physical parameters and infiltration after planting.", *J. Water Conserv.* (Heft 39), S. 149-152.
- Mackay, A.D. & Kladvko, E.J. (1985):** "Earthworms and rate of breakdown of soybean and maize residues in soil.", *Soil Biol. Biochem.* (Heft 17), S. 851-857.
- Maniak, U. (1993):** *Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure*, 3. Auflage, Braunschweig.
- Marsalek, J.; Watt, E.; Zeman, E. & Sieker, H. (2000):** *Advances in Urban Stormwater and Agricultural Runoff Source Controls*, NATO Science Series, IV. Earth and Environmental Sciences - Vol. 6, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- Meyer, C. (2000):** *Einschätzung des Beitrages des Interflows zum Abflussgeschehen, insbesondere zum Hochwasserabflussgeschehen*, Institut für Wasserwirtschaft, Universität Hannover.
- Michael, M.; Schmidt, J. & Schmidt, W.A. (1996):** *"Parameterkatalog Sachsen. Anwendung. Erosion 2D. Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser II, S. 63-157."*, .
- Mosimann, T. (1991):** *Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten. Ein Leitfaden für die Bodenerhaltung*, Liebefeld, Bern.
- Mualem, Y.; Assouline, S. & Rohdenburg, H. (1990):** "Rainfall induced soil seal. A critical review of observations and models.", *Catena* (Heft 17), S. 185-203.
- Murer, E.J.; Baumgarten, A.; Eder, G.; Gerzabek, M.H.; Kandeler, E., et al. (1993):** "An improved sieving machine for estimation of soil aggregate stability (SAS).", *Geoderma* (Heft 56), S. 539-547.
- Novotný, J. (2000):** *Kontrolle der Einhaltung von Rechtsvorschriften im Bereich des Wasserschutzes in Tschechien*, M. Kramer and H.-C. Brauweiler, Gewässerschutz- und Hochwasserschutzrecht. Ein Vergleich zwischen Deutschland, Polen und Tschechien, S. 109-116, Wiesbaden.
- Oades, J.M. (1984):** "Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management.", *Plant Soil.* (Heft 76), S. 319-337.
- Onstad, C.A. & Otterby, M.A. (1979):** "Crop residue effects on runoff.", *J. Soil and Water Cons* (Heft 34), S. 94-96.
- Ostrowski, M.W. (1992):** "Ein universeller Baustein zur Simulation hydrologischer Prozesse.", *Wasser & Boden* (Heft 11), S. 755-760.
- Ostrowski, M.W. & Wolf, U. (1991):** *Zur kontinuierlichen Simulation der Wasserbilanz mit deterministischen hydrologischen Modellen - Mathematische Formulierung - NASIM*, Version 1.74.

- Ostrowski, M.W.; Wolf, U. & Rhode, F.G. (1984):** “Die Berechnung der aktuellen Infiltration mittels Bodenfeuchtesimulation.”, *Die Wasserwirtschaft* (Heft 1).
- Pallagst, K.M. (2001):** “Planung im Transformationsprozess. Entwicklungstendenzen auf regionaler Ebene in der Tschechischen Republik.”, *RaumPlanung* (Heft 94), S. 21-25.
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (2001):** *Stellungnahme zum Entwurf des Gesetzes zur Neuregelung des Bundesnaturschutzgesetzes.*
- Rawls, W.J.; Brakensiek, D.L. & Saxton, K.E. (1982):** “Estimations of soil water properties.”, *ASAE Trans*, 25 (Heft 5), S. 1316-1328.
- Rawls, W.J. & Richardson, H.H. (1983):** “Runoff curve numbers for conservation tillage.”, *J. Soil Water Conserv.* (Heft 38), S. 494-496.
- Reidinger, J. (2000):** *Hochwasserschutz in Tschechien*, M. Kramer and H.-C. Brauweiler, Gewässerschutz- und Hochwasserschutzrecht. Ein Vergleich zwischen Deutschland, Polen und Tschechien, S. 155-166, Wiesbaden.
- Reiplinger, P. (2000):** *Zusammenarbeit zwischen Sachsen und den Nachbarländern in Grenzgewässerfragen*, M. Kramer and H.-C. Brauweiler, Gewässerschutz- und Hochwasserschutzrecht. Ein Vergleich zwischen Deutschland, Polen und Tschechien, S. 39-54, Wiesbaden.
- Richards, L.A. & Fireman (1943):** “Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils.”, *Soil Sci.* (Heft 56), S. 395-404.
- Robinson, D.A., Phillips, C.P. (2001):** “Crust development in relation to vegetation and agricultural practice on erosion susceptible, dispersive clay soils from central and southern Italy.”, *Soil Till. Res.* (Heft 60), S. 1-9.
- Rotko, J. (2000a):** *Abwasserbehandlung im polnischen Recht*, M. Kramer and H.-C. Brauweiler, Gewässerschutz- und Hochwasserschutzrecht. Ein Vergleich zwischen Deutschland, Polen und Tschechien, S. 63-70, Wiesbaden.
- Rotko, J. (2000b):** *Gewässerschutz im polnischen Recht und Auswirkungen des Europäischen Rechts*, M. Kramer and H.-C. Brauweiler, Gewässerschutz- und Hochwasserschutzrecht. Ein Vergleich zwischen Deutschland, Polen und Tschechien, S. 21-31, Wiesbaden.
- Runkel, P. (1997):** “Zur geplanten Neuregelung des Rechts der Raumordnung.”, *Umwelt- und Planungsrecht*, 17 (Heft 1), S. 1-9.
- Sachs, L. (1999):** *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden*, 9. Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Schjoning, P. & Rasmussen, K.J. (2000):** “Soil strength and soil pore characteristics for drilled and ploughed soils.”, *Soil Till. Res.* (Heft 57), S. 69-82.
- Schmidt, W.; Nitzsche, O.; Zimmerling, B. & Krück, S. (2000):** “Soil erosion control in Saxony.”, *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.* (Heft 93), S. 157-160.
- Schmidt, W.; Zimmerling, B.; Nitzsche, O. & Krück, S. (2001):** *Conservation tillage - A new strategy in flood control*, J. Marsalek, E. Watt, E. Zeman, and H. Sieker, Advances in urban stormwater and agricultural runoff source controls, NATO Science Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London.
- Schmitz, G. (1995):** *Regionalplanung*, A. f. R. u. Landesplanung, Handwörterbuch der Raumordnung, S. 823-830, Hannover.
- Schröder, W.; Euler, G.; Schneider, K. & al., e. (1994):** *Grundlagen des Wasserbaus*, Werner Verlag, Düsseldorf.
- Schwab, G.O.; Fangmeier, D.D.; Elliot, W.J. & Frevert, R.K. (1993):** *Soil and water conservation engineering*, 4. Auflage, John Wiley and Sons, Inc., New York.

Sekera, F. (1951): *Gesunder und kranker Boden*, Parey, Berlin.

Shipitalo, M.J.; Dick, W.A. & Edwards, W.M. (2000): “Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals.”, *Soil Till. Res.* (Heft 53), S. 167-183.

Sieker, F. (1998): “Beitrag zum Workshop: Hochwasserreduzierung durch dezentrale Maßnahmen?”, 15/16.5.98, Weiskirchen, Saarland.

Sieker, F.; Bandermann, S.; Lilienthal, A.; Sommer, H.; Sieker, H., et al. (2001): *Endbericht zum Forschungsvorhaben: "Innovative Hochwasserreduzierung durch dezentrale Maßnahmen am Beispiel der Saar"*, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück.

Statistisches Landesamt Sachsen (2001):

“<http://www.statistik.sachsen.de/Index/22kreis/unterseite22.htm>.”, .

Stauss, M. (1999): *Auswirkungen dezentraler Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung auf die Hochwasserentwicklung - dargestellt an elementaren Flächen*, Diplomarbeit, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Universität Hannover.

Stecker, A. (1997): *Anwendung der Mulden-Rigolen Kombination zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung in urbanen Entwässerungssystemen*, Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz, Band 16, Sug-Verlag, Hannover.

Stein, O.R.; Neibling, W.H.; Logan, T.J. & Moldenhauer, W.C. (1986): “Runoff and soil loss as influenced by tillage and residue cover.”, *Soil Sci. Soc. Am. J.* (Heft 50), S. 1527-1531.

Trojan, M.D. & Linden, D.R. (1998): “Macroporosity and hydraulic properties of earthworm-affected soils as influenced by tillage and residue management.”, *Soil Sci. Soc. Am. J.* (Heft 62), S. 1687-1692.

Uhlenbrook, S. & Leibundgut, C. (1997): “Abflussbildung bei Hochwasser in verschiedenen Raumskalen.”, *Wasser & Boden* (Heft 49), S. 13-22.

van der Ploeg, R.R.; Ehlers, W. & Sieker, F. (1999): “Floods and other possible adverse environmental effects of meadowland area decline in former West Germany.”, *Naturwissenschaften* (Heft 86), S. 313-319, Springer-Verlag.

van der Ploeg, R.R.; Ilsemann, J.; Hermsmeyer, D. & Machulla, G. (2001c): “Eine geänderte Landnutzung in der Nachkriegszeit als Mitverursacher der Hochwasserprobleme in Deutschland?”, S. Heiden, R. Erb, and F. Sieker, *Hochwasserschutz heute - Nachhaltiges Wassermanagement*, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

van der Ploeg, R.R. & Sieker, F. (2000): “Bodenwasserrückhalt zum Hochwasserschutz durch Extensivierung der Dränung landwirtschaftlich genutzter Flächen.”, *Wasserwirtschaft*, 90 (Heft 1), S. 28-33.

Winnige, B.; Corzelius, U. & Frielinghaus, M. (1998): “Indikation der aktuellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der Bodenbedeckung.”, *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.* (Heft 88), S. 569-572.

Zimmerling, B.; Nitzsche, O.; Schmidt, W.; Krück, S. & Zimmermann, M. (2001): “Wasserinfiltration auf konventionell und konservierend bearbeiteten Ackerböden bei Simulation von Intensivniederschlägen.”, *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.* (Heft 96), S. 791-792.

9.1 Gesetze und untergesetzliche Regelungen

- Agenda 2000 (1997):** Band I: Eine stärkere und erweiterte Union. Band II: Die Erweiterung als Herausforderung. Europäische Kommission.
- Baugesetzbuch "BauGB" (1997):** in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. August 1997. BGBl. I, S. 2141.
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung "BBodSchV" (1999):** , vom 12. Juli 1999.
- Bundes-Bodenschutzgesetz "BBodSchG" (1998):** Gesetz zum Schutz des Bodens, Artikel 1. Bundesgesetzblatt I, 17 März 1998, 502.
- Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes (2001):** Gesetz zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie, Stand: 17.05.2001.
- Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege und zur Anpassung anderer Rechtsvorschriften "BNatSchGNeuregG" (2001):** darin: Artikel 1: Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG., Stand: Mai 2001.
- Flurbereinigungsgesetz (1997):** in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. März 1976 (BGBl. I S. 546), zuletzt geändert durch Gesetz vom 18. Juni 1997. BGBl. I, S. 546.
- Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer "AbwAG" (1996):** Abwasserabgabengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 1994, BGBl. I S. 3370, geändert durch G.v. 11.11.1996. BGBl. I, S. 1690.
- Gesetz über die Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes", "AgrStruktG" (1997):** Gesetz vom 3. September 1969 (BGBl. I 1969, S. 1573), zuletzt geändert durch Gesetz vom 8.8.1997 (BGBl. I. S. 2027).
- Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege "BNatSchG" (1998):** in der Fassung der Bekanntmachung vom 21.09.1998. BGBl. I, S. 2994.
- Gesetz zum Schutz des Bodens (1998):** Artikel 1 Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998. BGBl. I.
- Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (1984):** Bundeswaldgesetz - vom 2 Mai 1975, geändert durch G. v. 27.7.1984. BGBl. I, S. 1034.
- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts "WHG" (1996):** Wasserhaushaltsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. November 1996, BGBl. I. S. 1695, zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes zur Umsetzung der UVP-Richtlinie, der IVU-Richtlinie und weiterer EG-Richtlinien zum Umweltschutz vom 27. Juli 2001. BGBl. I, S. 1950.
- MKRO (2000):** Handlungsempfehlungen der Ministerkonferenz für Raumordnung zum vorbeugenden Hochwasserschutz vom 14. Juni 2000. Vorbeugender Hochwasserschutz durch die Raumordnung. Bek. d. BMVBW, 18.7.2000, GMBI, S. 514.
- Raumordnungsgesetz "ROG" (1997):** In der Fassung der Bekanntmachung vom 18. August 1997. BGBl. I, S. 2081.
- Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 des Rates vom 17. Mai 1999 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL) und zur Änderung bzw. Aufhebung bestimmter Verordnungen (1999):** Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 160/80, 26.6.1999.

Wasserrahmenrichtlinie "WRRL" (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Abl. EG Nr. L 327, S. 1.

10 Anhang

Inhalt

Anlage 1: Datengrundlagen und Verzeichnis der Regionalpläne

Anlage 2: Bodenkennwerte für die NASIM- Modellierung

Datengrundlagen

Folgende Ämter und andere Institutionen haben zur Unterstützung des Projektes digitale und analoge Daten zur Verfügung gestellt:

LAND BRANDENBURG:

Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg:

- Daten zur Umweltsituation im Land Brandenburg, Region Lausitz-Spreewald, Lizenzvergabe durch: Luftbild und Planung mbH, Potsdam.

Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGBR):

- Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK) (digital) für folgende TK25-Blätter: TK3952, TK3953, TK3954, TK 4052, TK4053, TK4054, TK4152, TK4153, TK4154, TK4253, TK4254, TK4353, TK4354.

Landesforstanstalt Eberswalde- Außenstelle Potsdam:

- Digitale Forstübersichtskarten und Daten des Datenspeichers Wald für das Einzugsgebiet „Unteres Neißetal“.
- Erläuterungen zur Datenstruktur des Datenspeichers Wald.

Landesvermessungsamt Brandenburg:

- Digitales Geländemodell - DGM50 für den brandenburgischen Teil des Einzugsgebiets der Neiße.

Landesumweltamt Brandenburg– Außenstelle Cottbus (LUA):

- Digitale Wasserstands- und Durchflussdaten für die Pegel Klein Bademeusel, Guben 2 und Zschorno für die hydrologischen Jahre 1981, 1982, 1987, 1988, 1992, 1993, 1997.
- Pegelverzeichnis Brandenburgs für das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße.

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Eberswalde (WSA):

- Digitale Wasserstands- und Durchflussdaten für den Pegel Eisenhüttenstadt für die hydrologischen Jahre 1981, 1982, 1987, 1988, 1992, 1993, 1997.

FREISTAAT SACHSEN:

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG):

- Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK) (digital) für folgende TK25-Blätter: TK4453, TK4454, TK4553, TK4554, TK 4555, TK4654, TK4655, TK4656, TK4755, TK4854, TK4855, TK4953, TK4954, TK4955, TK5052, TK5053, TK5054, TK5055, TK5152, TK5153, TK5154, sowie die dazugehörigen Legenden und Datenschlüssel der Kreise Bautzen, Bischofswerda, Hoyerswerda, Löbau-Zittau, Görlitz, Niesky und Weiswasser.
- Vektordaten der Trinkwasserschutzgebiete (WSG) für folgende TK25-Blätter: TK4453, TK4454, TK4553, TK4554, TK 4555, TK4654, TK4655, TK4656, TK4755, TK4854, TK4855, TK4953, TK4954, TK4955, TK5052, TK5053, TK5054, TK5055, TK5152, TK5153, TK5154.
- Waldbodenkarte WBK25 (digital) für folgende TK25-Blätter: TK4453, TK4454, TK4553, TK4554, TK 4555, TK4654, TK4655, TK4656, TK4755, TK4854, TK4855, TK4953, TK4954, TK4955, TK5052, TK5053, TK5054, TK5055, TK5152, TK5153, TK5154.
- Digitale Wasserstands- und Durchflussdaten für die Pegel Hartau, Zittau 1, Zittau 2, Großschönau 2, Seifhennersdorf, Neuschönau 1, Neuschönau 2, Niederoderwitz, Oberoderwitz, Rosenthal, Rennersdorf 1, Rennersdorf 2, Rennersdorf 3, Tauchritz, Görlitz, Podrosche, Podrosche 1 in den hydrologischen Jahren 1981, 1982, 1987, 1988, 1992, 1993, 1997.
- Pegelbögen der Schreibepegel Rennersdorf 2, Tauchritz, Görlitz für das hydrologische Jahr 1997
- Niederschlagsmessungen der Station Görlitz (analog) für die Zeiträume 8/1984, 6/1987, 6/1992, 7/1993, 3/1994, 6/1995 und 7/1996.
- Pegelverzeichnis Sachsens.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL):

- Digitales Geländemodell ATKIS-DGM25 für folgende TK25-Blätter: TK4453, TK4454, TK4553, TK4554, TK 4555, TK4654, TK4655, TK4656, TK4755, TK4746, TK4854, TK4855, TK4953, TK4954, TK4955, TK5053, TK5054, TK5055, TK5153, TK5154.
- Digitales Landschaftsmodell ATKIS-DLM25 für folgende TK25-Blätter: TK4453, TK4454, TK4553, TK4554, TK 4555, TK4654, TK4655, TK4656, TK4755, TK4746, TK4854, TK4855, TK4953, TK4954, TK4955, TK5053, TK5054, TK5055, TK5153, TK5154.

Sächsische Landesanstalt für Forsten, Graupa (LAF):

- Forstwirtschaftliche Standortkartierung (FSK) für das Einzugsgebiet der Pließnitz; entspricht folgenden TK25-Blättern: TK4953, TK4954, TK5053, TK5054, TK5055.

Staatliches Umweltfachamt Bautzen (StUfa Bautzen):

- Studie: Hochwasserschutz Pließnitzgemeinden (erstellt im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung, November 1993).
- Aufstellung ehemaliger Meliorationsbetriebe des Altkreises Görlitz mit Angaben zu den Nachfolgeorganisationen.
- Aufstellung der Abwasserzweckverbände im sächsischen Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße.
- Tabellarische Aufstellung der Trinkwasserschutzgebiete im sächsischen Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße.
- Lagepläne der Lausitzer Neiße im Maßstab 1:2000, sowie Längsschnitte für den sächsischen Abschnitt der Lausitzer Neiße. Stand der Kartierung: ca. 1950.
- Pegeldata des polnischen Übergabepiegels Reczyn/ Witka für die hydrologischen Jahre 1992, 1993, 1995, 1997, 1999 (Tageswerte).

Stadtverwaltung der Kreisstadt Zittau, Technisches Dezernat

- Generalentwässerungsplan der Stadt Zittau (1992)
- Themenkarten des Landschaftsplan der Stadt Zittau
- Digitale Grundkarte der Stadt Zittau

Stadtverwaltung der Stadt Görlitz, Umweltamt

- Informationen zum Entwässerungssystem der Stadt Görlitz.
- Digitale Grundkarte der Stadt Görlitz

Landratsamt des Landkreises Löbau/ Zittau:

- Informationen zum Meliorationskataster des Kreises Löbau-Zittau (Auszug aus dem analogen Meliorationskataster)
- Digitalisierte Meliorationsflächen des Kreises Löbau-Zittau.

Gemeinde Strahwalde:

- Bestandskarten der Gemeinde Maßstab: 1:500.

Gemeinde Berthelsdorf:

- Bestandskarten der Gemeinde Maßstab: 1:500 (analog und digital).
- Informationen zum Entwässerungssystem der Gemeinde.

Gemeinde Rennersdorf:

- Bestandskarten der Gemeinde Maßstab: 1:500.
- Informationen zum Entwässerungssystem der Gemeinde.

Stadtamt der Stadt Herrnhut:

- Informationen zum Entwässerungssystem der Gemeinde.

WEITERE DATENEIGENTÜMER:

Deutscher Wetterdienst – BALTEX-MDC, Offenbach:

- Aufstellung der Synoptischen Niederschlagsstationen (GTS) in Deutschland, Polen und Tschechien; Aufstellung der Messstationen des BALTEX-Messnetzes in Deutschland und in Polen.
- Klimadaten (Windverhältnisse, Lufttemperatur, Luftdruck) der GTS-Stationen Cottbus, Görlitz, Lichtenhain-Mittelndorf, Liberec (Reichenberg), Zielona Gora (Grünberg) und Jelenia Gora (Hirschberg) für die Zeiträume 8/1984, 6/1987, 6/1992, 7/1993, 3/1994, 6/1995 und 7/1996 (Tageswerte).
- Niederschlagsdaten der BALTEX-Stationen Jonsdorf (südlich von Zittau), Zittau, Kemnitz (bei Bernstadt), Görlitz, Guben, Sulikow (südlich von Görlitz), Piensk (nördlich von Görlitz), Zagan, Zasieki (bei Forst) für den Zeitraum von 1980 bis 1999 (Tageswerte).
- Zeitlich hochaufgelöste Niederschlagsdaten für hydrologische Jahr 1997 sowie für die Hochwasserperiode Juni bis August 1981.
- Lufttemperaturdaten für die Stationen Manschnow, Cottbus, Görlitz, Lichtenhain-Mittelndorf und Müncheberg im Zeitraum von 1980 bis 1998 (Tageswerte).
- Verdunstungsdaten nach Penman-Wendling der Station Görlitz für den Zeitraum von 1981 bis 1999.

Statistisches Bundesamt

- Daten zur Bodenbedeckung für die Bundesrepublik Deutschland

Regionale Raumordnungspläne

Baden-Württemberg:

BW-1: Regionalplan Region Donau-Iller vom 28. Januar/15. Juli 1985.

BW-2: Regionalplan 2010 der Region Ostwürttemberg vom 3. April 1996 mit Änderungen.

BW-3: Regionalplan Unterer Neckar, 1. Teilfortschreibung Plankapitel 6.4. Vorbeugender Hochwasserschutz vom 18. Oktober 1999.

BW: 4 : Regionalplan Mittlerer Oberrhein vom 12. Februar 1992 mit Änderungen.

BW-5: Regionalplan Schwarzwald-Baar-Heuberg vom 29. Januar 1999.

BW-6: Regionalplan der Region Stuttgart vom 22. Juli 1998.

BW-7: Regionalplan Südlicher Oberrhein 1995 vom 14. April 1994.

BW-8: Regionalplan Neckar Alb vom 30. November 1993

BW-9: Regionalplan Region Franken vom 29. Juni 1994.

BW-10: Regionalplan Bodensee-Oberschwaben vom 30. September 1994.

Bayern:

- BY-1: Regionalplan Region Oberpfalz-Nord vom 1. Februar 1989.
- BY-2: Regionalplan Industrieregion Mittelfranken von Juli 1988.
- BY-3: Regionalplan Region Westmittelfranken vom 1. Dezember 1987.
- BY-4: Regionalplan Region Augsburg vom 15. Juni 1996.
- BY-5: Regionalplan Ingolstadt vom 30. Dezember 1989 mit Teilfortschreibungen.
- BY-6: Regionalplan Region Regensburg vom 1. März 1988.
- BY-7: Regionalplan Region Donau-Wald von September 1986.
- BY-8: Regionalplan Region Allgäu vom 17. Dezember 1985 mit Fortschreibungen.
- BY-9: Regionalplan Region Oberland vom 1. September 1988.
- BY-10: Regionalplan Region München vom 1. März 1992 (in Auszügen).
- BY-11: Regionalplan für die Region Landshut 1985 mit Fortschreibungen.

Brandenburg:

- BB-1: Regionalplan Oderland-Spree – Entwurf vom 7. September 1998.

Hessen:

- HE-1: Regionalplan Mittelhessen Entwurf 2000. Entwurf zur 2. Offenlegung.
- HE-2: Regionalplanentwurf der Regionalversammlung Südhessen für die Anhörung und Offenlegung 1999 vom 20. November 1998.
- HE-3: Regionalplan Nordhessen 2000. Entwurf zur 2. Offenlegung. Mai 2000.

Niedersachsen:

- NS-1: Regionales Raumordnungsprogramm für den Landkreis Stade 1999.
- NS-2: Regionales Raumordnungsprogramm für den Landkreis Verden 1997.
- NS-3: Regionales Raumordnungsprogramm für den Landkreis Rotenburg 1998.
- NS-4: Regionales Raumordnungsprogramm für den Landkreis Celle 1993.
- NS-5: Regionales Raumordnungsprogramm für den Landkreis Harburg 2000.

Nordrhein-Westfalen:

- NW-1: Gebietsentwicklungsplan Regierungsbezirk Arnsberg, Teilabschnitt Oberbereiche Bochum und Hagen – Entwurf 1999.
- NW-2: Gebietsentwicklungsplan Regierungsbezirk Arnsberg, Teilabschnitt Oberbereich Siegen 1989 mit Änderungen.
- NW-3: Gebietsentwicklungsplan Regierungsbezirk Arnsberg, Oberbereich Dortmund – östlicher Teil – Kreis Soest und Hochsauerlandkreis 1996.
- NW-4: Gebietsentwicklungsplan Regierungsbezirk Düsseldorf. Mai 2000.
- NW-5: Gebietsentwicklungsplan Regierungsbezirk Münster, Teilabschnitt Münsterland vom 1. September 1998.
- NW-6: Gebietsentwicklungsplans Regierungsbezirk Münster, Teilabschnitt Emscher-Lippe – Entwurf vom 4.12.2000 (in Auszügen).

Rheinland-Pfalz

- RP-1: Regionalplan Trier von Dezember 1995 mit Teilfortschreibung.
- RP-2: Regionalplan Rheinhessen-Nahe von September 1986.
- RP-3: Regionaler Raumordnungsplan Westpfalz von November 1990.

Sachsen-Anhalt

- SA-1: Regionales Entwicklungsprogramm Regierungsbezirk Magdeburg vom 30. Januar 1996.
- SA-2: Regionales Entwicklungsprogramm Dessau vom 30. Januar 1996.
- SA-3: Regionales Entwicklungsprogramm für den Regierungsbezirk Halle vom 30. Januar 1996.

Sachsen

- SN-1: Regionalplan Oberes Elbtal Osterzgebirge von Dezember 1997.
- SN-2: Regionalplan Region Oberlausitz-Niederschlesien – Entwurf vom 8.10.1998.
- SN-3: Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge von Oktober 1999.
- SN-4: Regionalplan Südwestsachsen von Mai 1998.

Schleswig-Holstein

- SH-1: Regionalplan Planungsraum I – Schleswig-Holstein Süd von Oktober 1998.
- SH-2: Regionalplan Planungsraum III – Schleswig-Holstein Mitte von Oktober 1998.
- SH-3: Regionalplan Planungsraum IV von März 1984.

Thüringen:

- TH-1: Regionaler Raumordnungsplan Mittelthüringen vom 17. November 1998.
- TH-2: Regionaler Raumordnungsplan Südthüringen vom 3. November 1998.
- TH-3: Regionaler Raumordnungsplan Ostthüringen vom 6. November 1998.
- TH-4: Regionaler Raumordnungsplan Nordthüringen vom 28. Oktober 1998.

Tabelle zum Kapitel 3.2 „Bodenkennwerte für die Modellierung des Abflussgeschehens mit dem Simulationsmodell NASIM

LDNR	SCHLS SEL	Flschl	Bodenart- gruppe [KA4]	Verschläm- ungsneigung	INF, ungehindert [cm/d]	KF [cm/d], bis 3 dm	KF [cm/d], ab 3 dm	LK [%] - norm, bis 3 dm	nFK [%] - norm, bis 3 dm	FK [%] - norm, bis 3 dm	GPV [%] - norm, bis 3 dm	TW (PWP) [%] - norm, bis 3 dm	LK [%] - norm, ab 3 dm	nFK [%] - norm, ab 3 dm	FK [%] - norm, ab 3 dm	GPV [%] - norm, ab 3 dm	TW (PWP) [%] - norm, ab 3 dm	LK [%] - fest, 3-5 dm (konv. LW)	nFK [%] - fest, 3-5 dm (konv. LW)	FK [%] - fest, 3-5 dm (konv. LW)	GPV [%] - fest, 3- 5 dm (konv. LW)	TW (PWP) [%] - fest, 3- 5 dm (konv. LW)
1	1.1. 3	1130	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
2	1.1. 4	1140	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
3	8.2. 7	8270	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
4	1.2. 4	1240	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
5	8.2. 5	8250	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
6	8.4. 5	8450	ls	45	300	154	99	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
7	8.4. 4	8440	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
8	8.4. 6	8460	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
9	8.2. 8	8280	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
10	8.2.10	8210	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
11	8.2. 3	8230	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
12	8.2. 6	8260	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
13	8.2. 4	8240	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
14	4.1.10	4110	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
15	4.1.12	4112	ls	45	300	154	99	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
16	4.1. 6	4160	ls	45	300	154	99	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
17	4.1.13	4113	ll	12	90	56,68	31,68	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
18	4.5.12	4512	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
19	5.2. 3	5230	ll	12	90	56,68	31,68	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
20	5.2. 4	5240	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
21	5.2. 5	5250	ll	12	90	56,68	31,68	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
22	4.5.11	4511	sl	12	300	80,18	55,18	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
23	5.0	5000	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
24	8.4.10	8410	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
25	16.1. 5	16150	Hn	12	750	529	504	10	60	85	95	25	9	54	80,8	89,8	26,8	5	55	83	88	28
28	16.1. 6	16160	Hn, ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
29	15.2. 7	15270	Kip	12	100	41,32	16,32	16	23,5	34	50	10,5	14,4	21,15	32,3	46,7	11,2	9	17	25	34	8
30	17.1. 3	17130	Kip	12	100	41,32	16,32	16	23,5	34	50	10,5	14,4	21,15	32,3	46,7	11,2	9	17	25	34	8
31	17.1. 1	17110	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
35	1.1. 3	1130	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
36	1.1. 4	1140	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
37	1.2. 4	1240	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
38	8.2. 7	8270	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
39	8.2.11	8211	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
40	8.2. 3	8230	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
41	8.2. 5	8250	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
42	8.2. 8	8280	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
43	8.2.10	8210	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4

Tabelle zum Kapitel 3.2 „Bodenkennwerte für die Modellierung des Abflussgeschehens mit dem Simulationsmodell NASIM (Fortsetzung)

44	8.2.12	8212	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
45	8.2.6	8260	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
46	8.2.4	8240	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
47	8.4.7	8470	ss	12	750	175	150	22	14,5	21	43	6,5	19,8	13,05	20,0	39,8	6,9	18,5	10	14	32,5	4
48	8.4.6	8460	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
49	4.1.6	4160	ls	45	300	154	99	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
50	4.1.10	4110	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
51	4.1.8	4180	ls	45	300	154	99	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
52	4.1.9	4190	ls	45	300	154	99	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
53	16.1.6	16160	Hn, ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
54	16.1.5	16150	Hn	12	750	529	504	10	60	85	95	25	9	54	80,8	89,8	26,8	5	55	83	88	28
55	5.4.2	5420	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
56	5.0.2	5020	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
57	5.0.3	5030	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
58	5.0.4	5040	ls	45	300	154	99	14,5	19	26,5	41	7,5	13,05	17,1	25,2	38,2	8,1	11,5	14	20	31,5	6
59	17.1.1	17110	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
60	17.1	17100	Kip	12	100	41,32	16,32	16	23,5	34	50	10,5	14,4	21,15	32,3	46,7	11,2	9	17	25	34	8
61	1.1	1100	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
62	1.2	1200	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
63	1.3	1300	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
64	1.4	1400	ss	12	750	325	300	22	14,5	21	43	6,5	19,8	13,05	20,0	39,8	6,9	18,5	10	14	32,5	4
65	3.2	3200	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
66	3.1	3100	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
67	3.3	3300	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
68	3.5	3500	lu	45	100	51	26	10,5	27,5	41	51,5	13,5	9,45	24,75	39,0	48,4	14,2	7	19	36,5	43,5	17,5
68	3.5	3500	lu	45	100	51	26	10,5	27,5	41	51,5	13,5	9,45	24,75	39,0	48,4	14,2	7	19	36,5	43,5	17,5
69	3.6	3600	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
70	4.1	4100	ls	45	300	144	89	17	21,5	29,5	46,5	8	15,3	19,35	28,0	43,3	8,7	13,5	21,5	23,5	37	2
71	4.2	4200	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
72	3.4	3400	ls	45	300	154	99	14,5	19	26,5	41	7,5	13,05	17,1	25,2	38,2	8,1	11,5	14	20	31,5	6
72	3.4	3400	ls	45	300	154	99	14,5	19	26,5	41	7,5	13,05	17,1	25,2	38,2	8,1	11,5	14	22	33,5	8
73	4.3	4300	sl	12	300	80,18	55,18	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
74	5.1	5100	ll	12	90	56,68	31,68	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
75	5.2	5200	ll	12	90	56,68	31,68	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
76	5.3	5300	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
77	5.4	5400	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
78	5.5	5500	ll	12	90	53	28	5,5	18	38	43,5	20	4,95	16,2	36,1	41,1	19,9	3,5	13	28	31,5	15
79	8.1	8100	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
80	8.2	8200	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
82	8.4	8400	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
84	10.01	10100	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
85	10.3	10300	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
86	10.4	10400	lu/ss	45	100	38	13	8,5	25	38	46,5	13	7,65	22,5	36,1	43,8	13,6	5	22	34,5	39,5	12,5
87	10.5	10500	lu	45	100	39	14	10,5	27,5	41	51,5	13,5	9,45	24,75	39,0	48,4	14,2	7,5	24	36,5	44	12,5
88	10.6	10600	lu/ss	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5

Tabelle zum Kapitel 3.2 „Bodenkennwerte für die Modellierung des Abflussgeschehens mit dem Simulationsmodell NASIM (Fortsetzung)

89	10.7	10700	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
90	10.8	10800	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
91	10.15	10150	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
92	10.14	10140	lu	45	100	38	13	8,5	25	38	46,5	13	7,65	22,5	36,1	43,8	13,6	5	22	34,5	39,5	12,5
93	10.13	10130	lu	45	100	38	13	8,5	25	38	46,5	13	7,65	22,5	36,1	43,8	13,6	5	22	34,5	39,5	12,5
94	10.12	10120	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
95	10.11	10110	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
96	10.10	10100	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
97	10.9	10900	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
98	11.2	11200	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
99	11.1	11100	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
100	11.3	11300	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
101	11.4	11400	lu/sl	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
102	13.1	13100	sl(n)/n	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
103	13.2	13200	ll	12	90	56,68	31,68	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
104	13.3	13300	ls/n	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
105	1.1. 6	1160	ss	12	750	325	300	22	14,5	21	43	6,5	19,8	13,05	20,0	39,8	6,9	18,5	10	14	32,5	4
106	7	7000	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
107	1.2. 3	1230	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
107	1.2. 3	1230	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
108	3.2. 1	3210	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
109	4.9	4900	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
110	4.6	4600	lt	12	40	21,04	11,04	3,5	15	55	58,5	40	3,15	13,5	52,3	55,4	38,8	2,5	9	46	48,5	37
111	9.1.14	9114	ll	12	90	56	28	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
112	5.2	5200	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
113	10.2	10200	lu/tu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
114	10.9	10900	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
115	10.4. 5	10450	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
116	10.4. 4	10440	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
117	10.4	10400	lu/ss	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
118	10.5	10500	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
119	11.2. 2	11220	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
120	10.4. 1	10410	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
121	11.1. 7	11170	lu/ss	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
122	11.3. 1	11310	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
123	11.3. 2	11320	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
124	11.1. 3	11130	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
125	11.1	11100	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
126	11.1. 4	11140	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
127	10.6.13	10613	lu/sl	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
128	10.6.14	10614	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
129	10.6. 2	10620	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
130	13.3. 8	13380	lu	45	100	56,68	31,68	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
131	13.3. 7	13370	ls/sl	45	300	117,16	62,16	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
132	13.2. 7	13270	ls/n	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6

Tabelle zum Kapitel 3.2 „Bodenkennwerte für die Modellierung des Abflussgeschehens mit dem Simulationsmodell NASIM (Fortsetzung)

133	13.2. 2	13220	ls/n	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
134	8.2. 1	8210	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
238	1.1	1100	ss	12	750	559	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
239	1.2	1200	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
240	2.1	2100	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
241	3.1	3100	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
242	4.1	4100	sl	12	300	80,18	55,18	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
243	4.2	4200	sl	12	300	64,5	39,5	8,5	22,5	34	42,5	11,5	7,65	20,25	32,3	40,0	12,1	5	16,5	20,5	25,5	4
244	4.3	4300	sl	12	300	80,18	55,18	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
245	4.4	4400	lt	12	40	15,52	5,52	3,5	15	55	58,5	40	3,15	13,5	52,3	55,4	38,8	2,5	9	46	48,5	37
246	5.1	5100	ll	12	90	56,68	31,68	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
247	5.2	5200	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
248	5.3	5300	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
249	5.4	5400	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
250	5.5	5500	ll	12	90	53	28	5,5	18	38	43,5	20	4,95	16,2	36,1	41,1	19,9	3,5	13	28	31,5	15
251	8.1	8100	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
252	10.2	10200	lu/tu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
253	10.1	10100	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
254	10.3	10300	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
255	10.4	10400	lu/ss	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
256	10.5	10500	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
257	10.6	10600	lu/ss	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
258	10.7	10700	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
259	10.8	10800	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
260	9.2	9200	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
261	9.1	9100	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
262	9.3	9300	lu	45	100	51	26	10,5	27,5	41	51,5	13,5	9,45	24,75	39,0	48,4	14,2	7,5	24	36,5	44	12,5
263	9.4	9400	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
264	9.5	9500	sl	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
265	9.6	9600	lu	45	100	38	13	8,5	25	38	46,5	13	7,65	22,5	36,1	43,8	13,6	5	22	34,5	39,5	12,5
266	9.7	9700	lu	45	100	38	13	8,5	25	38	46,5	13	7,65	22,5	36,1	43,8	13,6	5	22	34,5	39,5	12,5
267	9.8	9800	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
268	11.1	11100	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
269	11.2	11200	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
270	11.3	11300	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
271	11.4	11400	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
272	11.5	11500	lu/sl	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
273	11.6	11600	lu/sl	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
274	11.7	11700	lu/sl	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
275	11.8	11800	lu/sl	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
276	13.1	13100	sl(n)/n	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
277	13.2	13200	sl(n)/n	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
278	13.3	13300	sl(n)/n	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
279	13.4	13400	tl(n)/n	12	90	56,68	31,68	4	15	45	49	30	3,6	13,5	42,8	46,4	29,3	3	9	33	36	24

Tabelle zum Kapitel 3.2 „Bodenkennwerte für die Modellierung des Abflussgeschehens mit dem Simulationsmodell NASIM (Fortsetzung)

280	13.5	13500	ls/n	45	300	144	89	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
281	13.7	13700	ls/n	45	300	144	89	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
282	13.6	13600	ls/n	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
283	14.1	14100	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
395	1.1	1100	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
396	1.2	1200	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
397	1.3	1300	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
398	1.4	1400	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
399	1.5	1500	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
400	2.1	2100	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
401	3.1	3100	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
402	4.1	4100	ls	45	300	201,64	146,64	17	21,5	29,5	46,5	8	15,3	19,35	28,0	43,3	8,7	13,5	21,5	23,5	37	2
403	4.2	4200	sl	12	300	80,18	55,18	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
404	4.3	4300	ls	45	300	186	131	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
405	4.4	4400	ll	12	90	56	28	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
406	4.5	4500	ll	12	90	56	28	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
407	4.6	4600	sl	12	300	87,16	39,5	12,5	24,5	38	50,5	13,5	11,25	22,05	36,1	47,4	14,1	9	19	24,5	33,5	5,5
408	4.7	4700	ll	12	90	56	28	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
409	4.8	4800	lt	12	40	15,52	5,52	3,5	15	55	58,5	40	3,15	13,5	52,3	55,4	38,8	2,5	9	46	48,5	37
410	5.1	5100	ll	12	90	56,68	31,68	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
411	5.2	5200	ll	12	90	56,68	31,68	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
412	5.3	5300	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
413	5.4	5400	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
414	5.5	5500	ll	12	90	53	28	5,5	18	38	43,5	20	4,95	16,2	36,1	41,1	19,9	3,5	13	28	31,5	15
415	7.1	7100	Hn, ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
416	8.1	8100	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
417	8.2	8200	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
417	8.2	8200	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
418	8.3	8300	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
419	8.4	8400	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
419	8.4	8400	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
420	8.5	8500	ss	12	750	205	180	22	14,5	21	43	6,5	19,8	13,05	20,0	39,8	6,9	18,5	10	14	32,5	4
421	8.6	8600	ss	12	750	325	300	22	14,5	21	43	6,5	19,8	13,05	20,0	39,8	6,9	18,5	10	14	32,5	4
422	10.1	10100	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
423	10.2	10200	lu/tu	45	100	38	13	8,5	25	38	46,5	13	7,65	22,5	36,1	43,8	13,6	5	22	34,5	39,5	12,5
424	10.3	10300	lu	45	100	39	14	10,5	27,5	41	51,5	13,5	9,45	24,75	39,0	48,4	14,2	7,5	24	36,5	44	12,5
425	11.1	11100	lu/ss	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
426	11.2	11200	lu/ls	45	100	38	13	8,5	25	38	46,5	13	7,65	22,5	36,1	43,8	13,6	5	22	34,5	39,5	12,5
427	13.1	13100	sl(n)/n	12	300	80,18	55,18	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
428	13.2	13200	tl(n)/n	12	90	56,68	31,68	4	15	45	49	30	3,6	13,5	42,8	46,4	29,3	3	9	33	36	24
429	13.3	13300	sl(n)/n	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
430	13.4	13400	tl(n)/n	12	90	56,68	31,68	4	15	45	49	30	3,6	13,5	42,8	46,4	29,3	3	9	33	36	24
431	13.5	13500	sl(n)/n	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
432	13.6	13600	sl(n)/n	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
433	13.7	13700	sl(n)/n	12	300	80,18	55,18	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5

Tabelle zum Kapitel 3.2 „Bodenkennwerte für die Modellierung des Abflussgeschehens mit dem Simulationsmodell NASIM (Fortsetzung)

434	14.1	14100	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
435	14.2	14200	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
436	14.3	14300	ls	45	300	201,64	146,64	16	20,5	28,5	44,5	8	14,4	18,45	27,1	41,5	8,6	12,5	16	22	34,5	6
1050	8.3	8300	ss	12	750	529	504	24	15,5	22	46	6,5	21,6	13,95	20,9	42,5	7,0	20,5	11	15	35,5	4
1091	10.3. 2	10320	lu	45	100	41,32	16,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
1092	11.3. 3	11330	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
1093	5.5	5500	ll	12	90	56,68	31,68	7,5	19	40	47,5	21	6,75	17,1	38,0	44,8	20,9	4,5	14	30	34,5	16
1094	5.0	5000	ls	45	300	154	99	14,5	19	26,5	41	7,5	13,05	17,1	25,2	38,2	8,1	11,5	14	20	31,5	6
1095	11.2. 1	11210	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
1097	11.3. 5	11350	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
1098	13.3. 6	13360	sl(n)/n	12	300	87,16	62,16	10,5	23,5	36	46,5	12,5	9,45	21,15	34,2	43,7	13,1	7	17,5	22,5	29,5	5
1099	10.3. 7	10370	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
2000	10.3. 6	10360	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5
2001	11.3. 4	11340	lu	45	100	35,32	10,32	9,5	26,5	40	49,5	13,5	8,55	23,85	38,0	46,6	14,2	5,5	23	35,5	41	12,5

Bemerkung: Verschlammungsneigung 45 = stark und sehr stark gefährdet; 12 = schwach und sehr schwach gefährdet