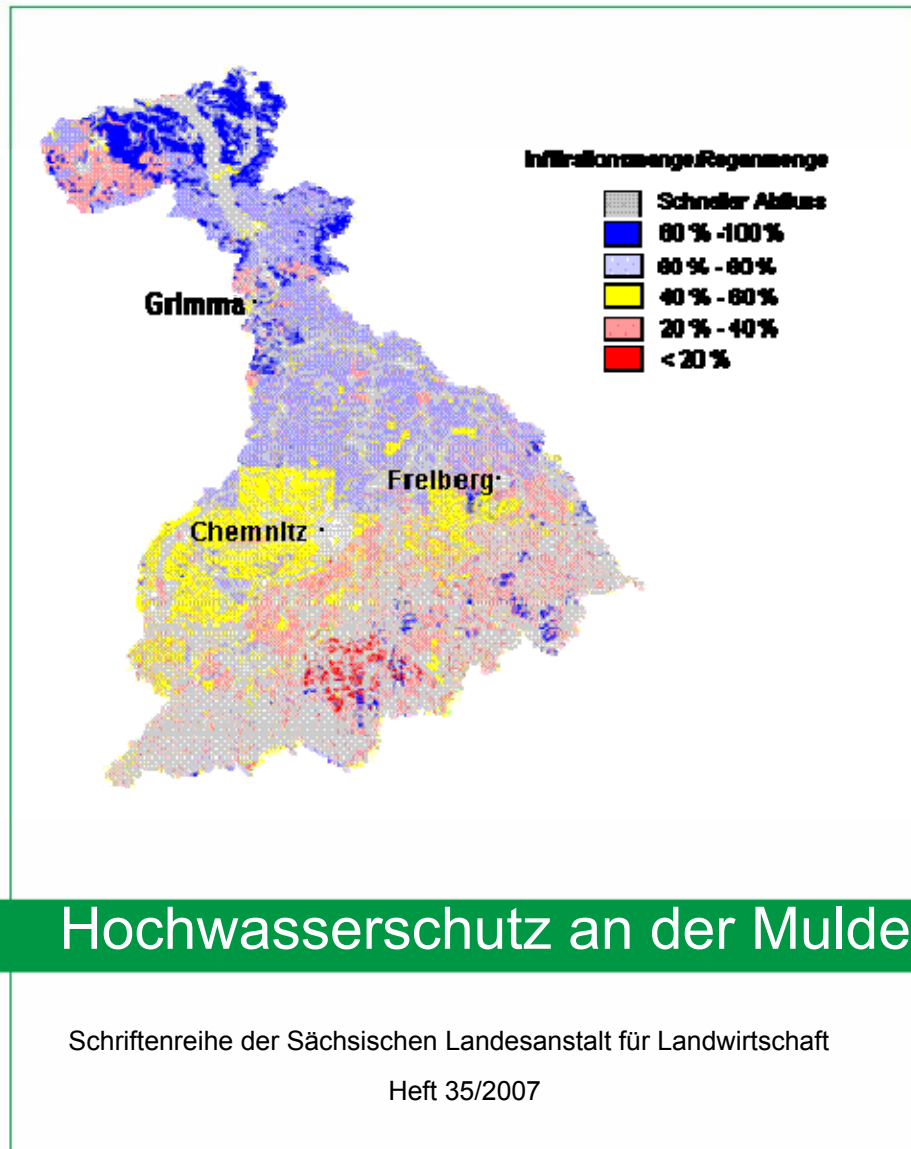




Das Lebensministerium



Freistaat  Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche
unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte
am Beispiel des
Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen**

Projektleitung:

Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Sieker

Leibniz 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

Förderer:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Referat 33/0 - Naturschutz

Herr Dr. Reinhard Stock

An der Bornau 2, 49090 Osnabrück

Tel 0541/ 9633 – 0

www.dbu.de

Projektpartner:

Antragsteller und Projektleitung:

(IWW) - Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau
der Leibniz Universität Hannover,

Univ. Prof. i.R. Dr.-Ing. Friedhelm Sieker (Projektleiter)

Dipl.-Ing. Detlef Wilcke (Bearbeiter)

Appelstr. 9A, 30167 Hannover

Tel: 03342/ 3595-26

Fax: 0511/ 762-3731

E-Mail: d.wilcke@sieker.de

Kooperationspartner:

(IUP) - Institut für Umweltplanung, Abteilung Landschaftspflege und Naturschutz
der Leibniz Universität Hannover

Univ.-Prof. Dr. Christina von Haaren

Univ.-Prof. Dr. Michael Reich

Dipl.-Ing. Rüter (Bearbeiter)

Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover

Tel: 0511/762-2652

Fax: 0511/762-3791

E-Mail: rueter@land.uni-hannover.de

(VWL) - Institut für Volkswirtschaftslehre
der Leibniz Universität Hannover
PD. Dr. Jörg Jasper
Dipl.-Ökon. Marc Salzmann (Bearbeiter)
Königsworther Platz 1, 30167 Hannover
Tel: 0511/762-4866
Fax: 0511/762-2989
E-Mail: j.jasper@enbw.com

(LfL) - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau
Dr. Walter-A. Schmidt
Dr. Steffen Zacharias (Bearbeiter)
Dr. Olaf Nitzsche
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Tel: 0341/9174-116
Fax: 0341/9174-111
E-Mail: walter.schmidt@smul.sachsen.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Beschreibung des Untersuchungsgebietes	4
2.1	Geografische Lage	4
2.2	Naturräumliche Gliederung	5
2.3	Klimatische Verhältnisse	6
2.4	Böden	7
2.5	Landnutzung	9
2.6	Hydrologie und Hochwasser	10
3	Bestimmung des Wasserrückhaltepotenzials	11
3.1	Grundlagen	11
3.2	Potenzielles Speichervermögen	12
3.2.1	Definition	12
3.2.2	Datengrundlagen	13
3.2.3	Green-Ampt-Infiltration	13
3.3	Dominierender Abflussprozess	17
3.4	Ergebnisse	18
4	Maßnahmenkatalog für einen flächenhaften Hochwasserschutz	35
4.1	Maßnahmenkatalog für den Siedlungsbereich	35
4.1.1	Auswahl der Maßnahmen	35
4.1.2	Maßnahmensteckbriefe für den Siedlungsbereich	36
4.1.3	Diskussion	37
4.2	Maßnahmenkatalog für landwirtschaftliche Flächen	40
4.2.1	Auswahl der Maßnahmen	40
4.2.2	Maßnahmensteckbriefe für landwirtschaftliche Flächen	42
4.2.3	Diskussion	44
5	Expertensystem zur Erstellung von Maßnahmenkarten	68
5.1	Vorgehensweise	68
5.1.1	Lösungsansatz	68
5.1.2	FLEXT - FLExible EXpert Tool	70
5.1.3	Entscheidungsmatrix	73
5.1.4	Datengrundlage für das Einzugsgebiet der Mulde	74
5.2	Maßnahmenkarten für den Siedlungsbereich	76
5.2.1	Entscheidungsmatrix für die Siedlungsgebiete	76
5.2.2	Ergebnisse für die Siedlungsgebiete	79
5.3	Maßnahmenkarten für landwirtschaftliche Flächen	82
5.3.1	Entscheidungsmatrix für die landwirtschaftlichen Flächen	82
5.3.2	Ergebnisse für die landwirtschaftlich genutzten Flächen	85
5.4	Diskussion der Maßnahmenkarten	91

6	Mögliche Umsetzungsszenarien und ihre Auswirkungen auf die Hochwasserentstehung	94
6.1	Vorgehensweise	94
6.2	Entwicklung von Umsetzungsszenarien	95
6.2.1	Umsetzungsszenario für die Siedlungsgebiete	95
6.2.2	Umsetzungsszenario für die landwirtschaftlichen Flächen	97
6.3	Modelldiskussion	102
6.4	N-A-Modellierung möglicher Umsetzungsszenarien - Siedlungsgebiete	103
6.4.1	Dimensionierung unverbundener Mulden-Rigolen-Elemente	103
6.4.2	Rückhaltevermögen dezentraler Bewirtschaftungsmaßnahmen bei hochwassererursachenden Niederschlagsereignissen	105
6.5	N-A-Modellierung möglicher Umsetzungsszenarien – landwirtschaftliche Flächen	110
6.5.1	Modellansätze und Wahl der Modellparameter zur Abbildung der konservierenden Bodenbearbeitung	110
6.5.2	Rückhaltevermögen der konservierenden Bodenbearbeitung bei hochwassererursachenden Niederschlagsereignissen	129
6.6	Hydrologische Berechnung der Hochwasserabflüsse im Ist-Zustand und unter Berücksichtigung von Umsetzungsszenarien	137
6.6.1	Räumliche Gliederung des Einzugsgebietes	137
6.6.2	Abflusstransport	138
6.6.3	Abflussretention	138
6.6.4	Abflussbildung	138
6.6.5	Kalibrierung des Niederschlag-Abfluss-Modells	141
6.6.6	Ergebnisse der hydrologischen Modellierung	144
6.7	Diskussion der Modellierungsergebnisse	145
7	Naturschutzfachliche Handlungsempfehlungen zur Ziel- und Maßnahmenentwicklung	147
7.1	Anlass und Zielsetzung	147
7.2	Methodische und instrumentelle Bausteine der integrativen Ziel- und Maßnahmenentwicklung	151
7.2.1	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes	153
7.2.2	Erfassung und Bewertung von Natur und Landschaft	153
7.2.3	Leitbildentwicklung	158
7.2.4	Umweltqualitätsziele und Umweltqualitätsstandards	159
7.2.5	Szenarios und Maßnahmenvarianten	161
7.2.6	Bewertungsmethodik	163
8	Umsetzung des Ziel- und Maßnahmenkonzepts	170
8.1	Vorbeugender Hochwasserschutz und Naturschutz in der räumlichen Planung	170
8.1.1	Einleitung	170

8.1.2	Möglichkeiten und Defizite der dezentralen Hochwasserschutzplanung in Sachsen	170
8.1.3	Vorbeugender Hochwasserschutz als Querschnittsaufgabe der Umweltplanungen und der Raumplanung	172
8.1.4	Fazit	196
8.2	Ökonomische Aspekte der Umsetzung	197
8.2.1	Ökonomische Bewertung der Maßnahmen	197
8.2.2	Die Situation der Förderung der hochwasserschutzrelevanten Maßnahmen	228
9	Informationen zur Förderpolitik im Bereich Bodenschonender Ackerbau in Sachsen	243
10	Schlussfolgerungen und Ausblick	247
11	Literatur	251
12	Öffentlichkeitsarbeit	283
12.1	Vorträge/Projektpräsentationen	283
12.2	Veröffentlichungen	286
12.3	Studentische Arbeiten	287
13	Anlagen	289

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage und Ausdehnung des Untersuchungsgebietes	4
Abbildung 2:	Grenzen der Makrogeochoren im Untersuchungsgebiet (gem. Naturraumkartierung des Freistaates Sachsen, Sächs. Akad. d. Wiss., 1997)	6
Abbildung 3:	Merkmale der Klimastufen im Mittelgebirge, Hügel- und Tiefland in Sachsen (MANNSFELD und RICHTER, 1997: nach SCHWANECKE und KOCH, 1974)	7
Abbildung 4:	Verteilung der mineralischen Bodenarten im Untersuchungsgebiet (Bodenkonzeptkarte, LfUG Dresden, Bodenarten nach AG Boden, 2005)	8
Abbildung 5:	Landnutzung des Untersuchungsgebietes (ATKIS-Datensatz, Sächsisches Landesvermessungsamt, Dresden)	9
Abbildung 6:	Schema zur Ableitung des Wasserrückhaltepotenzials	12
Abbildung 7:	Eingabe- und Berechnungsmaske für das Green-Ampt-Modul	14
Abbildung 8:	Bodenmächtigkeiten (links) und Hangneigungen (rechts) im Untersuchungsgebiet (Digitales Geländemodell des ATKIS-Datensatzes, Sächsisches Landesvermessungsamt, Dresden)	37
Abbildung 9:	Bodenarten (aggregiert) des Oberbodens im Einzugsgebiet (Bodenkonzeptkarte, LfUG Freiberg)	21
Abbildung 10:	Verteilung der dominanten Abflussprozesse im Einzugsgebiet (aggregiert) (nach WBS FLAB)	22
Abbildung 11:	Potenzielles Speichervermögen des Untersuchungsgebietes in Abhängigkeit von der Vor-Regen-Entwässerung – Anteil des infiltrierenden Wasser im Verhältnis zur Gesamtregenmengen	23
Abbildung 12:	Theoretische Gesamtinfiltration für das Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von Regendauer und Vor-Regen-Entwässerung – Niederschlag 10-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit (oben) und 100-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit (unten)	24
Abbildung 13:	Niederschlag 100-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit, Dauer 1 h – Verteilung der Senkenpotenziale im Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Vor-Regen-Entwässerung – Anteil des infiltrierenden Wassers im Verhältnis zur Gesamt-Regenmenge	43
Abbildung 14:	Niederschlag 100-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit, Dauer 12 h – Verteilung der Senkenpotenziale im Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Vor-Regen-Entwässerung – Anteil des infiltrierenden Wassers im Verhältnis zur Gesamt-Regenmenge	44
Abbildung 15:	Niederschlag 100-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit, Dauer 72 h – Verteilung der Senkenpotenziale im Untersuchungsgebiet in	

	Abhängigkeit von der Vor-Regen-Entwässerung – Anteil des infiltrierenden Wassers im Verhältnis zur Gesamt-Regenmenge	45
Abbildung 16:	Anteile von Infiltration und Senkenpotenzial am Gesamtniederschlag für des gesamte Untersuchungsgebiet (Größe der Kreise in Relation zur Gesamtregenmenge)	29
Abbildung 17:	Anteile der Einzugsgebiets-Regionen an der Gesamtfläche und der Senkenpotenzial-Fläche des Untersuchungsgebietes (Angaben in km ² und prozentuale Anteile)	30
Abbildung 18:	Anteile von Infiltration und Senkenpotenzial am Gesamtniederschlag für die drei Einzugsgebiets-Regionen – 1-h-Regen	31
Abbildung 19:	Anteile von Gesamtinfiltration (hellblau) und Senkenpotenzial (dunkelblau) am Gesamtniederschlag (grau) für die drei Einzugsgebiets-Regionen – 12 h-Regen	32
Abbildung 20:	Anteile von Gesamtinfiltration (hellblau) und Senkenpotenzial (dunkelblau) am Gesamtniederschlag (grau) für die drei Einzugsgebiets-Regionen – 72 h-Regen	33
Abbildung 21:	Anteile der Landnutzung an der Gesamtfläche und Senkenpotenzialfläche des Einzugsgebiete	34
Abbildung 22:	Beispielhafte Jahreswasserbilanzen für verschiedene Regenwasserbewirtschaftungssysteme (100 % entspricht dem Zulauf zum System – effektiver Niederschlag)	38
Abbildung 23:	Aufbau und Inhalte der Maßnahmensteckbriefe (Prinzip)	43
Abbildung 24:	Beziehungen zwischen der Retentionsfunktion und anderen Landschaftsfunktionen (verändert nach RÜTER UND REICH, 2007)	47
Abbildung 25:	Einfluss von Biotopflächenanteil und Bodenbearbeitung auf die Abflussreduzierung (Maximum, Minimum, Mittelwert für die Einzugsgebiete Mockritzer Bach und Klatschbach) (verändert nach RÜTER, 2007)	62
Abbildung 26:	Einfluss von Biotopflächenanteil und Ansatz der Landschaftsstrukturierung auf die Abflussreduzierung (Maximum, Minimum, Mittelwert für die EZG Mockritzer Bach u. EZG Klatschbach) (verändert nach RÜTER, 2007)	63
Abbildung 27:	Einfluss von Biotopflächenanteil und Ansatz der Landschaftsstrukturierung auf die Überlebensfähigkeit (TM) von <i>Metrioptera roeselii</i> für das EZG Mockritzer Bach (verändert nach RÜTER, 2007)	63
Abbildung 28:	Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse und Synergieeffekte der Szenarios	64
Abbildung 29:	Lösungsansatz zur Erstellung der Maßnahmenkarten	70
Abbildung 30:	Eingabemaske zur Definition von Entscheidungsregeln	71
Abbildung 31:	Beispiel für die grafische Darstellung von Entscheidungsregeln	71

Abbildung 32:	Prüfung des Entscheidungsprozesses an Beispielstandorten	72
Abbildung 33:	Struktur des Modells FLEXT	73
Abbildung 34:	Maßnahmenkarte für die Siedlungsflächen	80
Abbildung 35:	Maßnahmenkarte für die Siedlungsflächen – Ausschnitt nordöstlich der Stadt Chemnitz	81
Abbildung 36:	Prozentuale Verteilung der anwendbaren Bewirtschaftungsverfahren	82
Abbildung 37:	Fachplanerkarte für die konservierende Bodenbearbeitung	86
Abbildung 38:	Fachplanerkarte für Maßnahmen zur Schlaggliederung	87
Abbildung 39:	Fachplanerkarten zur Einführung der Konturnutzung	88
Abbildung 40:	Fachplanerkarte für Maßnahmen zur oberirdischen Speicherung	89
Abbildung 41:	Detailausschnitt aus der Fachplanerkarte für die konservierende Bodenbearbeitung	89
Abbildung 42:	Detailausschnitt aus der Fachplanerkarte für Maßnahmen zur Schlaggliederung	90
Abbildung 43:	Detailausschnitt aus der Fachplanerkarte zur Einführung der Konturnutzung	90
Abbildung 44:	Detailausschnitt aus der Fachplanerkarte für Maßnahmen zur oberirdischen Speicherung	91
Abbildung 45:	Teileinzugsgebiete für die Szenarienerstellung (Codierung entspricht der Benennung der Teileinzugsgebiete im hydrologischen Modell)	97
Abbildung 46:	Entwicklung der konservierenden Bodenbearbeitung in verschiedenen Einzugsgebieten der Ämter für Landwirtschaft (Quelle: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, UL)	98
Abbildung 47:	Anteil der konservierenden Bodenbearbeitung in den Einzugsgebieten der Ämter für Landwirtschaft im Jahr 2004 (Quelle: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, UL)	99
Abbildung 48:	Angenommener Ist-Zustand der konservierenden Bodenbearbeitung in Einzugsgebiet der Mulde im Jahr 2004	100
Abbildung 49:	Zukunftsszenario der konservierenden Bodenbearbeitung im Einzugsgebiet der Mulde (plus 20 %)	102
Abbildung 50:	Örtliche Verteilung des Senkenpotenzials im Einzugsgebiet der Mulde beim Hochwasser im August 2002	108
Abbildung 51:	Kumulierte Senkenpotenziale entlang der Gewässer beim Hochwasser im August 2002	109
Abbildung 52:	Gemessene Wasserretentionskurven konventionell und konservierend bearbeiteter Böden (Bodenart Ut4, Bodentiefe 20 cm)	111

Abbildung 53:	Gemessene Bodenwassergehaltsganglinien konventionell und konservierend bearbeiteter Böden im Lösshügelland (Bodenart Ut4, Bodentiefe 20 cm)	112
Abbildung 54:	Infiltrationsmessung im Lösshügelland (Bodenart Ut4, Mai 2005, Beregnung 50 min, 1,2 mm/min, 0 – 30 min Beregnung mit Schutz vor Verschlämmung, Blau = Konventionelle Bearbeitung, Rot = Konservierende Bodenbearbeitung	114
Abbildung 55:	Einfluss von Bodenbedeckung und Niederschlagsintensität auf die Verschlämmungsfaktoren C_{cover} und C_p (modifiziert nach NIEHOFF, 2001)	118
Abbildung 56:	Schematisierte Darstellung des Bypass-Ansatzes, P = Niederschlag, I_{mat} = Infiltration in die Bodenmatrix, I_{mac} = Makroporenfluss, Perc = Perkolation in die zweite Bodenschicht	120
Abbildung 57:	Kennlinien der Exfiltration; Bodenart Ut2; Feldkapazität: 35,8 % Wassergehalt; Gesamtporenvolumen: 41,3 % Wassergehalt; konservierende Bodenbearbeitung.	123
Abbildung 58:	Ersatzsystem für die Kalibrierung der Modells STORM	124
Abbildung 59:	Ergebnisse der Testflächensimulation – Änderung des Speichervermögens konservierend bearbeiteter Böden im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (in mm) sowie die Niederschlagshöhe der Ereignisse an den Messstationen (als Säulen)	129
Abbildung 60:	Ergebnisse der Testflächensimulation – Änderung des Speichervermögens konservierend bearbeiteter Böden im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (in Prozent der Bruttoniederschlagshöhe des jeweiligen Ereignisses – Bruttoniederschlag als Säulen)	131
Abbildung 61:	Summe des Speichervolumens (in Millionen m^3) auf ausgewählten Ackerflächen im Einzugsgebiet der Mulde	133
Abbildung 62:	Änderung des Speichervolumens (in Millionen m^3) auf ausgewählten Ackerflächen im Verhältnis zum Ist-Zustand	134
Abbildung 63:	Räumliche Verteilung des zusätzlichen Speichervolumens (Senkenpotenzials) - Szenario: 20 % mehr kons. Bodenbearbeitung; Ereignis August 2002	135
Abbildung 64:	Räumliche Verteilung des zusätzlichen Speichervolumens (Senkenpotenzials) - Szenario: 20 % mehr kons. Bodenbearbeitung; Ereignis September 1995	136
Abbildung 65:	Räumliche Verteilung des zusätzlichen Speichervolumens (Senkenpotenzials) - Szenario: 20 % mehr kons. Bodenbearbeitung	

	und 15 % Abkopplung von Siedlungsflächen; Hochwasser August 2002	136
Abbildung 66:	Zuordnung der Niederschlagsdaten der Klimastationen zu den Teilgebieten	139
Abbildung 67:	Teileinzugsgebietseinteilung und Lage des Lungwitzbaches	140
Abbildung 68:	Hydrologisches STORM-Ersatzsystem für den Lungwitzbach	141
Abbildung 69:	Gemessene und berechnete Abflussganglinie am Pegel Niederlungwitz während des Hochwassers im August 2002 (fette Linie: STORM-Berechnung; dünne Linie: Pegelganglinie)	142
Abbildung 70:	Hydrologisches STORM-Ersatzsystem das Einzugsgebiet der Mulde	143
Abbildung 71:	Gemessene und berechnete Abflussganglinie am Pegel Golzern (unterhalb der Stadt Grimma) während des Hochwassers im August 2002 (fette Linie: STORM-Berechnung; dünne Linie: Pegelganglinie)	143
Abbildung 72:	Obwohl die Ackerfläche Bereiche mit besonderer Abflusswirksamkeit und regelmäßigen Erosionsschäden aufweist (Bildvordergrund) erfolgte die Neuanlage eines potenziell retentionswirksamen Biotops wenige Meter davon entfernt (Bildhintergrund) (Foto: Rüter 2004, Krumhermersdorf/Mittleres Erzgebirge)	147
Abbildung 73:	Strategiekonzept und Bausteine im Forschungsprojekt HONAMU	148
Abbildung 74:	Lage der EZG Mockritzer Bach (Mb), Klatschbach (Kb) und Krumhermersdorfer Bach (Hb) im Muldeinzugsgebiet	149
Abbildung 75:	Gebietsabgrenzung und Flächennutzung des EZG Mockritzer Bach	150
Abbildung 76:	Allgemeiner Ablauf und Bausteine der integrativen Ziel- und Maßnahmenentwicklung	152
Abbildung 77:	Abgrenzung verschiedener Funktionsräume im EZG Mockritzer Bach: Gewässereinzugsgebiet (durchgezogene Linie) und Areal einer Metapopulation der Roesels Beißschrecke (<i>Metrioptera roeselii</i>) (gestrichelte Linie) (verändert nach Rüter, 2007)	153
Abbildung 78:	Ergebnisse der Potenzialkarte (oben) und der Abflussmodellierung mit EROSION-3D (unten) für das EZG Mockritzer Bach (Modellannahmen: 20-jähriges Extremereignis, konventionelle Bodenbearbeitung (Pflug), Kultur Mais, Saatbettzustand, hohe Bodenfeuchte)	154
Abbildung 79:	Teilergebnisse der naturschutzfachlichen Zustandsbewertung im EZG Mockritzer Bach	157

Abbildung 80:	Vom Expertensystem FLEXT generierte Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens auf den Ackerflächen im EZG Mockritzer Bach	163
Abbildung 81:	In der Fallstudie Mockritzer Bach betrachtete Maßnahmenvarianten (fiktives Planbeispiel ohne Berücksichtigung der realen Flächenverfügbarkeit)	163
Abbildung 82:	Gegenüberstellung von vorhandenem Saumnetz (li.) und Verbreitungsmuster der Heuschreckenarten (re.) im Untersuchungsgebiet Mockritzer Bach (verändert nach RÜTER, 2007)	165
Abbildung 83:	Modellergebnisse zur Oberflächenabflussbildung (EROSION-3D) und zur Überlebensdauer von <i>Metrioptera roeselii</i> (Meta-X) bei Annahme verschiedener Szenarios im EZG Mockritzer Bach (Modellannahmen EROSION-3D: 20-jähriges Extremereignis, konventionelle Bodenbearbeitung (Pflug), Kultur Mais, Saatbettzustand, hohe Bodenfeuchte)	166
Abbildung 84:	Zielerreichungsgrade der Maßnahmenvarianten im EZG Mockritzer Bach vor dem Hintergrund der Umweltqualitätsziele (Zielerreichungsgrade: 1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch)	169
Abbildung 85:	Strategiekonzept zur Integration der Belange des vorbeugenden Hochwasserschutzes und des Naturschutzes in die räumliche Planung	173
Abbildung 86:	Planungsregionen im Muldeinzugsgebiet	185
Abbildung 87:	Ergebnisse der Potenzialkarte: Infiltration von Niederschlag in den Boden (Acker) (Kostras Bemessungsregen: 72 h Dauer, Wiederkehrwahrscheinlichkeit 100 Jahre, Vor-Regen-Entwässerung: 5 Tage)	187
Abbildung 88:	Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge – Raumnutzungskarte (RPV Chemnitz-Erzgebirge, 2002, Karte 2); überlagert mit Ergebnissen der Potenzialkarte (pot. Hochwasserminderungsgebiete)	187
Abbildung 89:	Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge – Sanierungsbedürftige Bereiche der Landschaft (RPV Chemnitz-Erzgebirge, 2002, Karte 4); überlagert mit Ergebnissen der Potenzialkarte (pot. Hochwasserminderungsgebiete)	188
Abbildung 90:	Planzeichen Maßnahmenkatalog Landwirtschaft	193

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Maßnahmenkatalog für die Siedlungsgebiete	36
Tabelle 2:	Wasserbilanz von Mulden-Rigolen-Elementen bei unterschiedlichen Starkregenereignissen (bezogen auf den effektiven Niederschlag)	39
Tabelle 3:	Maßnahmen der Bodenbearbeitung und Bestellverfahren	42
Tabelle 4:	Im Bereich Landwirtschaft vorgeschlagene Maßnahmen und ihre potenzielle Bedeutung für ausgewählte Naturschutzziele (verändert nach RÜTER UND REICH, 2007)	51
Tabelle 5:	Vergleichende Darstellung von Bodenverlust, Oberflächenabfluss und Endinfiltration	53
Tabelle 6:	Auswahlkriterien zur Ermittlung einer Zielart	62
Tabelle 7:	Ökonomisches Ranking der Maßnahmen	68
Tabelle 8:	Entscheidungsmatrix für die Siedlungsflächen	77
Tabelle 9:	Zusatzinformationen zum Entscheidungsprozess	79
Tabelle 10:	Entscheidungsmatrix für die landwirtschaftlichen Flächen	83
Tabelle 11:	Randbedingungen der Dimensionierung und Speichervolumina der Testflächen	104
Tabelle 12:	Niederschlagshöhen im Einzugsgebiet der Mulde und aktiviertes Senkenpotenzial bei hochwasserverursachenden Niederschlägen	107
Tabelle 13:	Senkenpotenzial in MRE bei Hochwassereignissen	109
Tabelle 14:	Eigenschaften der oberflächennahen Bodenschichten unter Berücksichtigung der Landnutzung – Annahmen für die Parametrisierung	114
Tabelle 15:	Kennwerte der 18 Bodengruppen	139
Tabelle 16:	Jahresgang der Bedeckungsgrade und Interzeption	127
Tabelle 17:	Parameter der Landnutzung bzw. Bodenbearbeitung	128
Tabelle 18:	Bodenartenabhängige Parameter der Verschlämmung	128
Tabelle 19:	Mittlere Abflussbeiwerte auf den betrachteten Flächen	134
Tabelle 20:	Modellierungsparameter der Landnutzungsklassen	139
Tabelle 21:	Abfluss- und Wasserstandsänderungen am Pegel Niederlungwitz am Lungwitzbach	144
Tabelle 22:	Abfluss- und Wasserstandsänderungen am Pegel Golzern an der Vereinigten Mulde	145
Tabelle 23:	Charakterisierung der im Rahmen von Fallstudien untersuchten Teileinzugsgebiete	150
Tabelle 24:	Eignung der CIR-Biotoptypen- und Landnutzungstypenkartierung Sachsen für die einzugsgebietsbezogene N-A-Modellierung mit WaSiM-ETH (verändert nach RÜTER et al., 2006)	156
Tabelle 25:	Umweltqualitätsziele für das EZG Mockritzer Bach	160

Tabelle 26:	Beispiele für Umweltqualitätsziele, Zielarten, Indikatoren und Toleranzgrenzen in der Fallstudie Mockritzer Bach	164
Tabelle 27:	Beispiel für die Zuordnung von Naturschutzwerten für verschiedene Zustände von Indikatoren des UQZ „Entwicklung eines funktional zusammenhängenden Netzes aus Saumstrukturen“	167
Tabelle 28:	Beispiel für eine Verknüpfungsregel zur Aggregation verschiedener Teilbewertungen von Indikatoren zu einem Gesamtwert für das UQZ „Entwicklung eines funktional zusammenhängenden Netzes aus Saumstrukturen“	168
Tabelle 29:	Aussagemöglichkeiten im Landesentwicklungsplan (§ 8 ROG, § 3 SächsLPIG)/Unterstreichungen sind den Aussagen des LEP (2003) als Ergänzungsvorschläge hinzugefügt	191
Tabelle 30:	Aussagemöglichkeiten im Landesentwicklungsplan (§ 8 ROG, § 3 SächsLPIG)/Unterstreichungen sind den Aussagen des LEP (2003) als Ergänzungsvorschläge hinzugefügt	192
Tabelle 31:	Aussagemöglichkeiten im Landesentwicklungsplan (§ 8 ROG, § 3 SächsLPIG)/Unterstreichungen sind den Aussagen des LEP (2003) als Ergänzungsvorschläge hinzugefügt	193
Tabelle 32:	Beitrag der Regionalplanung zum vorbeugenden Hochwasserschutz im Muldeinzugsgebiet/Stand der Regionalpläne 2001/2002 (HENZE, 2005)	186
Tabelle 33:	Festsetzungsmöglichkeiten im Regionalplan (§ 9 ROG, § 4 SächsLPIG)	199
Tabelle 34:	Darstellungsmöglichkeiten im Flächennutzungsplan (§ 5 BauGB)	203
Tabelle 35:	Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan (§ 9 BauGB)	204
Tabelle 36:	Entwicklung der im Rahmen des Programms Umweltgerechte Landwirtschaft in Sachsen geförderten konservierend bestellten Flächen von 1994 bis 2005 (SÄCHSISCHE AGRARBERICHTE 1994 bis 2005)	246

Zur Autorenschaft der einzelnen Kapitel

Die folgenden Angaben kennzeichnen die Autoren der einzelnen Kapitel dieses Abschlussberichtes. Für den Inhalt der Kapitel ist jeder Autor selbst verantwortlich.

Kapitel 1 –	Friedhelm Sieker
Kapitel 2 –	Steffen Zacharias, Stefan Rüter
Kapitel 3 –	Steffen Zacharias
Kapitel 4 –	Detlef Wilcke (4.1), Walter Schmidt (4.2), Steffen Zacharias (4.2), Stefan Rüter (4.2.3.2), Michael Reich (4.2.3.2), Marc Salzmann (4.2.3.3)
Kapitel 5 –	Detlef Wicke, Steffen Zacharias
Kapitel 6 –	Detlef Wilcke
Kapitel 7 –	Michael Reich, Stefan Rüter
Kapitel 8 –	Michael Reich (8.1), Stefan Rüter (8.1), Marc Salzmann (8.2)
Kapitel 9 -	Walter Schmidt, Olaf Nitzsche
Kapitel 10 -	Friedhelm Sieker
Anhang 1	Stefan Rüter, Michael Reich, Walter Schmidt, Detlef Wilcke
Anhang 2	Marc Salzmann

1 Einleitung

Große Hochwasser werden bekanntlich durch Niederschlagsereignisse hervorgerufen, die hinsichtlich Summe, Intensität und räumlicher Ausdehnung extreme Werte aufweisen. Zum Glück für die Betroffenen in den Hochwassergebieten fließt jedoch von diesen extremen Niederschlagsmengen jeweils nur ein Teil während und im direkten Gefolge der Niederschläge als „Hochwasserwelle“ ab. Ein signifikanter Anteil wird auf verschiedene Art „selbsttätig“, d. h. ohne bewusstes menschliches Zutun im Einzugsgebiet zurückgehalten. So sind z. B. beim extremen Rheinhochwasser 1993 nur rd. 50 % der Niederschläge innerhalb der Welle abgeflossen, 50 % wurden mindestens bis zum Ende des Hochwasserereignisses im Einzugsgebiet zurückgehalten.

Sieht man von künstlich geschaffenen Rückhalteräumen, wie z. B. Poldern und bewusst zugelassenen Überflutungsflächen ab, ist der größte Teil dieses Rückhalts der speicherfähigen Oberfläche und der natürlichen Speicherkapazität des Bodens auf den Flächen der Einzugsgebiete zu verdanken.

Es stellt sich die Frage – und der wird in diesem Projekt nachgegangen – ob man diese Rückhaltefähigkeit der Flächen durch gezielte Maßnahmen erhöhen kann. Würde es z. B. gelingen, den Gebietsrückhalt von 50 % auf 55 % der Niederschläge zu erhöhen, würde dieses eine Minderung des Hochwasservolumens um 10 % bedeuten und damit einen signifikanten Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz leisten.

Es besteht unter Hydrologen allgemein die Auffassung, dass bei extremen, hochwasserverursachenden Niederschlägen nicht nur die Speicherkapazität der Oberfläche ausgeschöpft wird, sondern auch die des Bodens. Tatsächlich tritt auch – wie durch Beobachtungen bestätigt wird – bei solchen Regnen zumindest in den oberen Dezimetern des Bodens häufig eine Wassersättigung und Verschlammung ein, so dass dieser dann nur noch die sogenannte „Hortonsche Versickerungsrate“ aufnehmen kann. Niederschlagsintensitäten, die über diese Versickerungsrate hinausgehen, werden als Oberflächenabfluss abgeführt, sofern auch die Speicherkapazität der Oberfläche erschöpft ist. Der „Hortonsche Oberflächenabfluss“ trägt damit also zur Hochwasserbildung bei.

An dieser Stelle setzen Überlegungen an, die zu dem vorliegenden Forschungsprojekt geführt haben. Es sei als „typischer“ Fall ein Bodenprofil gegeben, wie es z. B. im Lössbodenhügelland des Mulde-Einzugsgebietes ausgedehnt vorkommt: Mehrere Meter mächtig, tiefer Grundwasserstand, ca. 3 dm lockerer Oberboden, darunter ein durch menschliche Einflüsse (Ackerbau, Siedlungstätigkeit) im Einzelfall bis in eine Tiefe von 100 cm dichter lagernder Bodenhorizont. Darunter bis zum Grundwasser oder bis zum Festgestein Boden in natürlicher Lagerung. Bei intensiven, hochwasserverursachenden Niederschlägen tritt eine Wassersättigung und Verschlammung des Oberbodens ein, es kommt zu „Hortonschen Oberflächenabflüssen“. Währenddessen bleibt der verdichtete wie auch der natürlich gelagerte Unterboden aufgrund der beschränkten „Hortonschen Versickerungsrate“ ungesättigt. Er könnte also noch Wasser aufnehmen und damit zur Verringerung des

„Hortonschen Oberflächenabflusses“ beitragen, wenn es gelänge, dieses Speicherpotenzial durch geeignete Maßnahmen zu erschließen. Theoretisch lässt sich in den ungesättigten Bereich des vorstehend beschriebenen Bodenprofils eine derart große Wassersäule versickern, dass auch bei extremen Ereignissen nahezu die gesamte Niederschlagshöhe aufgenommen werden kann. Dieser „Ideallösung des Hochwasserproblems“ stehen jedoch Einschränkungen entgegen:

Eine Versickerung in den ungesättigten Bodenbereich bedeutet noch nicht, dass dieses Wasser auch einer sich entwickelnden Hochwasserwelle entzogen wird. Dieses ist erst dann der Fall, wenn das Wasser ausreichend lange im Boden verbleibt und nicht etwa als unterirdischer Zwischenabfluss relativ rasch in offene Gewässer gelangt.

Die quantitativ ausschöpfbaren Speicherpotenziale hängen von den hydraulischen Eigenschaften des Bodens, von der Vorsättigung durch vorausgegangene Niederschläge und von der örtlichen Verteilung der Niederschläge des aktuell betrachteten Ereignisses ab.

Einzugsgebiete wie das der Mulde sind hinsichtlich der örtlichen Verteilung des Speicherpotenzials der Böden und hinsichtlich der Fähigkeit, das Wasser ausreichend lange zurückzuhalten, sehr heterogen angelegt. Entsprechend gibt es Flächen, die ein sehr hohes hochwasserminderndes Speicherpotenzial der oben beschriebenen Art aufweisen. Es gibt aber auch große Flächenanteile, die diese Fähigkeit nur im geringeren Maße oder gar nicht besitzen. Zu den letzteren gehören im Falle des Muldegebietes z. B. die Erzgebirgslagen mit ihren gering mächtigen, hoch durchlässigen Bodenauflagen. Diese Flächen tragen in hohem Maße zur Hochwasserbildung bei und werden daher im Sinne des Sächsischen Wassergesetzes mit Recht als Hochwasserentstehungsgebiete bezeichnet. Andererseits werden hier und im Folgenden die Flächenanteile mit einem nachweisbaren Hochwasserminderungs-Potenzial als Hochwasserminderungsgebiete bezeichnet.

Mit der Feststellung, dass es Bereiche in den Einzugsgebieten gibt, die ein bisher unausgeschöpftes Potenzial zur Hochwasserminderung besitzen, stellt sich die eher praktische Frage, mit welchen Maßnahmen sich dieses Potenzial zumindest teilweise ausschöpfen lässt. Weil solche flächenbezogenen Maßnahmen nicht nur finanzielle Mittel, sondern auch die Akzeptanz durch die jeweiligen Grundeigentümer erfordern, stellt sich die weitergehende Frage, welche anderen Probleme sich mit dem Problem der Hochwasserminderung kombinieren und gemeinsam lösen lassen.

Aus vorhergehenden Untersuchungen ist bekannt, dass es besonders im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft und im Bereich der Landwirtschaft Probleme gibt, die sich gemeinsam mit dem Problem der Hochwasserminderung durch Nutzung des Speicherpotenzials ungesättigter Böden lösen lassen.

Im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft besteht aus ökonomischen und ökologischen Gründen ein Interesse daran, die Ableitung des Regenwassers über Kanalnetze zu vermeiden oder zu ver-

ringern und stattdessen durch dezentrale Bewirtschaftungsmaßnahmen mit vollständiger oder partieller Versickerung zu ersetzen. Im Bereich der Landwirtschaft und hier insbesondere im Bereich der Ackerwirtschaft besteht unter anderem das Problem der Wassererosion der Böden durch Starkniederschläge, das nur durch Verminderung der Oberflächenabflüsse zu vermeiden oder zu mindern ist. Ausgehend von dem Ziel des vorbeugenden Hochwasserschutzes können retentionsfördernde Maßnahmen so auch in Bezug auf andere naturschutzfachlich relevante Zielsetzungen, wie z. B. Erosionsschutz, Gewässerschutz oder Arten- und Biotopschutz, Vorteile bieten.

Hieraus leiten sich folgende Ziele für das vorliegende Projekt ab:

- Entwicklung einer auf beliebige Einzugsgebiete übertragbaren Methodik, das Wasserrückhaltepotenzial flächendeckend zu ermitteln und Karten oder Pläne für die Ausweisung von potenziellen Hochwasserminderungsgebieten herzustellen,
- Identifizierung von Synergieeffekten zwischen den Zielen und Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes und des Naturschutzes,
- Entwicklung je eines Katalogs von multifunktionalen Hochwasserschutzmaßnahmen – dargestellt in sogenannten „Maßnahmen-Steckbriefen“ - für die Bereiche Siedlungswasserwirtschaft und Landwirtschaft,
- Softwarebezogene Verknüpfung eines vorhandenen Entscheidungshilfesystems mit den GIS-technisch aufbereiteten Daten des Muldeinzugsgebietes und Aufstellen eines Regelwerks zur Definition geeigneter Maßnahmen,
- Erstellung einer „Maßnahmenkarte“ für den Bereich Siedlungswasserwirtschaft zur Beantwortung der Frage, welche Maßnahme an welchem Ort möglich und sinnvoll ist,
- Erstellung von einzugsgebietsweiten „Fachplanerkarten“ für den Bereich Landwirtschaft zur Beantwortung der Frage wo eine bestimmte Maßnahme möglich und sinnvoll ist,
- Handlungsempfehlungen und beispielhafte Anwendungen naturschutzfachlicher Maßnahmen,
- Beispielhafte Berechnung der Auswirkungen angenommener Umsetzungsszenarien im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft und der Landwirtschaft auf den Hochwasserabfluss im Muldegebiet,
- Erarbeitung einer Handlungsstrategie zur Umsetzung der vorgeschlagenen Ziele und Maßnahmen (Umsetzungsinstrumente, Integration in die räumliche Planung),
- Ökonomische Bewertung der vorgeschlagenen Ziele und Maßnahmen, unterteilt nach den Bereichen Siedlungswasserwirtschaft und Landwirtschaft,
- Bewertung der derzeitigen Fördermöglichkeiten im Bereich der Landwirtschaft und Erarbeitung von Verbesserungsvorschlägen,
- Zusammenfassende Bewertung flächenbezogener Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserrückhalts bei Hochwasserereignissen und Ausblick auf weitergehende Untersuchungen.

Das Projekt war Bestandteil eines Projektverbundes, der von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Sachsen initiiert wurde und neben dem Hochwasserschutz vor allem auch die naturschutz-

fachlichen Aspekte in den Mittelpunkt der Betrachtungen stellte. In diesem Projektverbund wurden insgesamt drei Forschungsprojekte gefördert. Neben dem hier vorgestellten Projekt handelte es sich hierbei um das Projekt HochNatur, das sich mit Aspekten des Hochwasser- und Naturschutzes im Einzugsgebiet der Weißeritz befasste sowie ein Projekt, das auf die hochwasser- und naturschutzgerechte Behandlung umweltgeschädigter Wälder und Offenlandbereiche in Durchbruchstämmern des Osterzgebirges ausgerichtet war.

2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

2.1 Geografische Lage

Das Untersuchungsgebiet umfasst den in Sachsen liegenden Teil des Einzugsgebietes der Vereinigten Mulde. Die maximale Nord-Süd-Ausdehnung beträgt ca. 148 km, die maximale Ost-West-Ausdehnung ca. 109 km. Die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes beträgt 6 848 km².

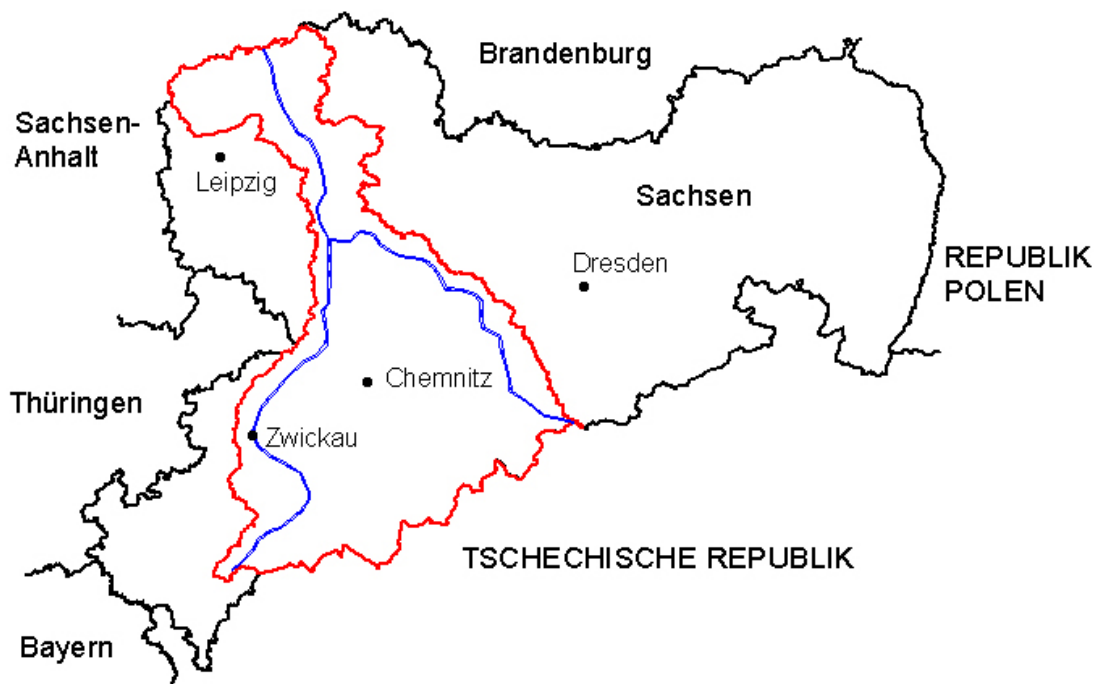


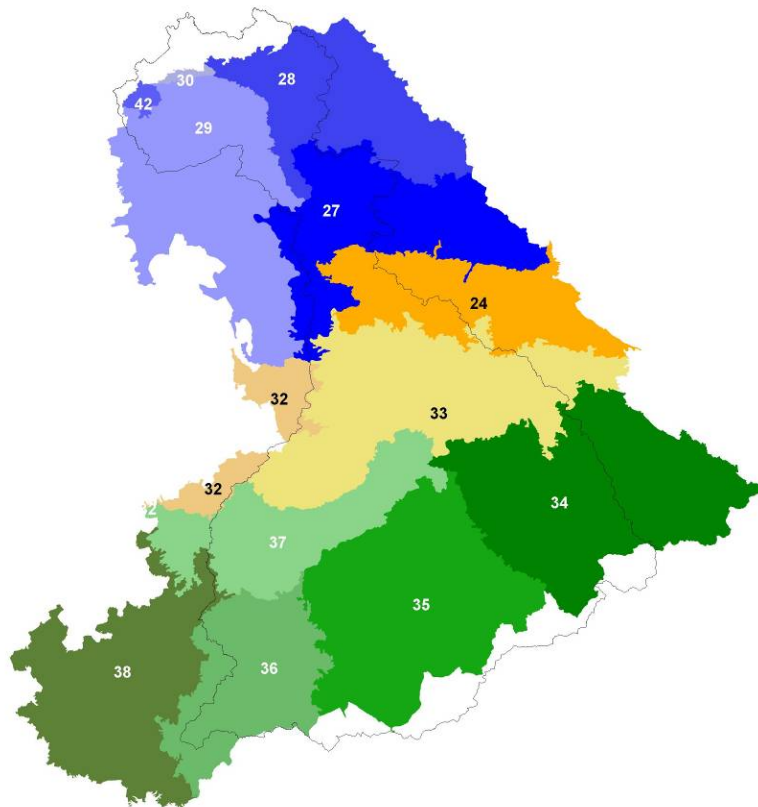
Abbildung 1: Lage und Ausdehnung des Untersuchungsgebietes

Der flächenmäßig größte Teil des Muldeinzugsgebietes befindet sich im Freistaat Sachsen, kleinere Bereiche verteilen sich auf die angrenzenden Bundesländer Thüringen und Sachsen-Anhalt sowie die Tschechische Republik. Begrenzt wird das Untersuchungsgebiet im Norden durch die Landesgrenze und im Süden durch die Grenze zur Tschechischen Republik. Administrativ ist das Einzugsgebiet Teilen der Regierungsbezirke Chemnitz und Leipzig zugeordnet.

2.2 Naturräumliche Gliederung

Das Untersuchungsgebiet hat Anteile an drei bedeutenden Naturregionen Europas (MANNSFELD und RICHTER, 1995). Den flächenmäßig geringsten Anteil nimmt das lössfreie Tiefland im äußersten Norden ein. Große Teile gehören dem Lössgürtel an und der Süden lässt sich dem Mittelgebirge zuordnen.

Durch die Sächsische Akademie der Wissenschaften (1997) wurde eine Naturraumkartierung für Sachsen erstellt (vgl. HAASE und MANNSFELD, 2002). In dieser werden neben geologischen, gefüge- und komponentenbezogenen Merkmalen auch ökologische Potenziale und Landschaftsfunktionen zur Ermittlung und Abgrenzung von Naturraumeinheiten (Mikrogeochoren) herangezogen. Diese Mikrogeochoren - Naturräume im mittleren Maßstab mit einem einheitlichen hierarchischen Rang – können zu Makrogeochoren aggregiert werden, wodurch sich eine höherrangige naturräumliche Differenzierung des Untersuchungsgebietes ergibt. Abbildung 2 zeigt die Lage und Grenzen der Makrogeochoren des Untersuchungsgebietes. Insgesamt lassen sich dem Gebiet Teile von 13 Makrogeochoren zuordnen.



24	Mittelsächsisches Lösshügelland	34	Osterzgebirge
27	Nordsächs. Platten- und Hügelland	35	Mittleres Erzgebirge
28	Düben-Dahleener Heide	36	Westerzgebirge
29	Leipziger Land	37	Erzgebirgsbecken
30	Bitterfelder Bergbaurevier	38	Vogtland
32	Ostthür. Lösshügelland	42	Köthener Ebene
33	Mulde-Lösshügelland		

Abbildung 2: Grenzen der Makrogeochoren im Untersuchungsgebiet (gem. Naturraumkartierung des Freistaates Sachsen, Sächs. Akad. d. Wiss., 1997)

2.3 Klimatische Verhältnisse

Die signifikante Gliederung des Makroreliefs im Untersuchungsgebiet über das Erzgebirge und das Erzgebirgsvorland über das Lösshügelland hin zu den Tiefländern im Leebereich des Harzes führt zu einer deutlich abgrenzbaren Klimazonierung. Diese beeinflusst die Temperatur- und Niederschlagsverteilung im Gebiet. Hier findet sich eine charakteristische Zunahme der Niederschläge von Südost nach Nordwest, wobei der nordwestliche Bereich klar durch die Lee-Wirkung des Harzes geprägt ist. Die Jahresniederschläge liegen hier im Bereich zwischen 500 mm und 600 mm.

Die Jahresmitteltemperaturen schwanken um einen Bereich von 8,0°C bis 9,0°C. In den Kammlagen und mittleren Lagen des Erzgebirges, die durch Staueffekte durch das Erzgebirge beeinflusst sind, lassen sich dagegen Jahresniederschläge von 650 mm bis 850 mm beobachten. Die Jahresmitteltemperatur liegt im Bereich zwischen 5,5°C und 7,0°C. Die Winterniederschläge im Einzugsgebiet sind im Mittel niedriger als die Sommerniederschläge.

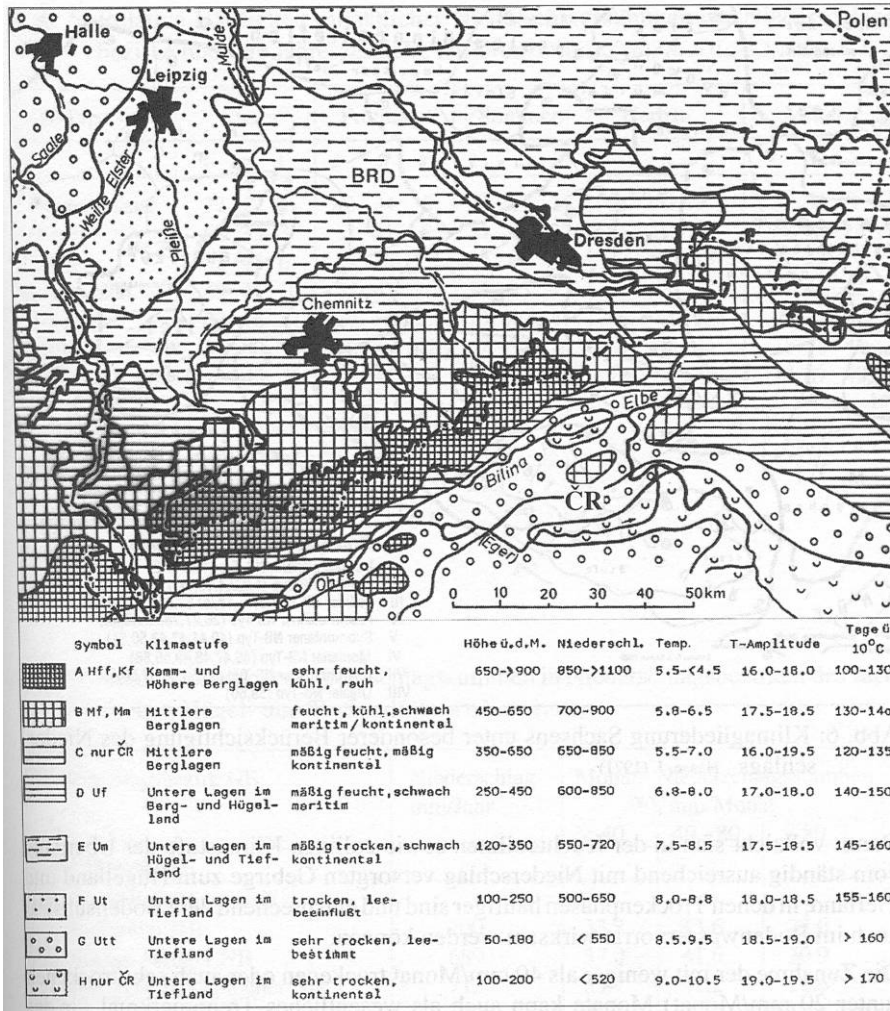


Abbildung 3: Merkmale der Klimastufen im Mittelgebirge, Hügel- und Tiefland in Sachsen (MANSFELD und RICHTER, 1997: nach SCHWANECKE und KOCH, 1974)

2.4 Böden

Für den Unterlauf des Einzugsgebietes sind die äolischen Sedimente bestimmend für die Bodenbildung. Die glazialen Ablagerungen überdeckend dominieren hier sandige Braunerden. Mit zunehmendem Tonanteil finden sich hier auch Parabraunerden. Im Überflutungsbereich der Mulde finden sich großflächige Auelehmlagerungen, wobei hier Veggen und grundwasserbeeinflusste Vega-Gleye die dominierende Bodenform darstellen.

Beim Übergang in das Nordsächsische Platten- und Hügelland finden sich vermehrt Pseudogleye und sandlössdominierte Parabraunerden. Die Lösshügelländer werden durch die mächtigen Lössdecken charakterisiert, die hier Mächtigkeiten von 10 m bis zu 20 m erreichen können. Häufigste Bodenform sind hier die Parabraunerden. In Hangfußbereichen treten Pseudogley-Bildungen auf. Die Pseudogleye dominieren auch den südlicheren Bereich der Löss-Region.

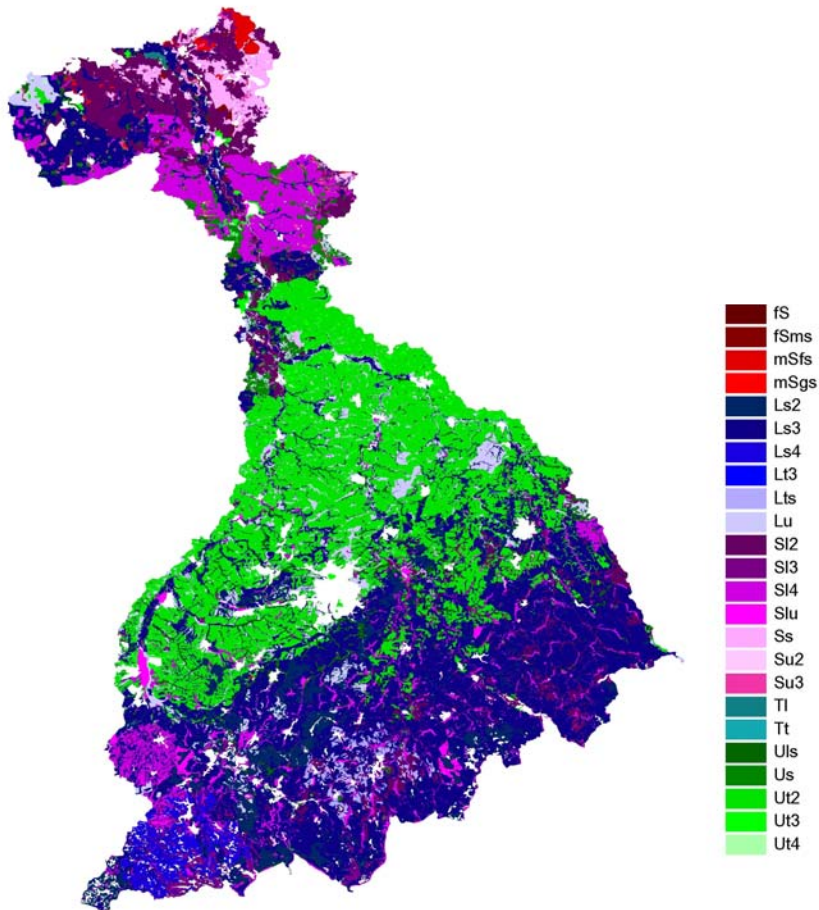


Abbildung 4: Verteilung der mineralischen Bodenarten im Untersuchungsgebiet (Bodenkonzeptkarte, LfUG Dresden, Bodenarten nach AG Boden, 2005)

Mit zunehmender Annäherung an das Erzgebirge wird die Lössdecke geringer und der Einfluss des anstehenden Grundgesteins auf die Bodenbildung nimmt zu. Charakteristisch ist hier der Einfluss des geologischen Ausgangsmaterials – des Rotliegenden. Häufig finden sich hier Braunerden. Das Erzgebirge wird durch Böden aus Gesteinverwitterungsdecken geprägt. In Abhängigkeit des Ausgangsgesteins finden sich hier vielfältige Bodentypen. Podsol-Bildungen treten häufig bei nährstoffarmen Ausgangsgesteinen auf. Typisch sind ebenfalls Braunerden und Gley-Bildungen in Hangfuß- und Hangnässezonen.

Für die Beurteilung der Bodenhydrologie und bodenhydraulischen Leistungsfähigkeit des Einzugsgebietes ist die Kenntnis von Art und Verteilung der Bodenarten von besonderem Interesse. Die unterschiedliche Bodengenese des Gebietes spiegelt sich in der Bodenartenverteilung deutlich wider (Abbildung 4). Die dominierende Bodenart in der Erzgebirgsregion sind die Lehme, wobei die Bodenart Ls3 mit ca. 33 % Anteil an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebiet, die dominierende Bodenart darstellt. In den Lösshügelländern sind die Schluffböden die vorherrschenden Bodenarten, wobei die Bodenart Ut2 die größte Verbreitung aufweist. Im Unterlauf finden sich dann die glazialen Sandablagerungen.

2.5 Landnutzung

Die naturräumlichen Eigenschaften des Einzugsgebietes spiegeln sich auch in der Verteilung der Landnutzungen im Gebiet wider (Abbildung 5).

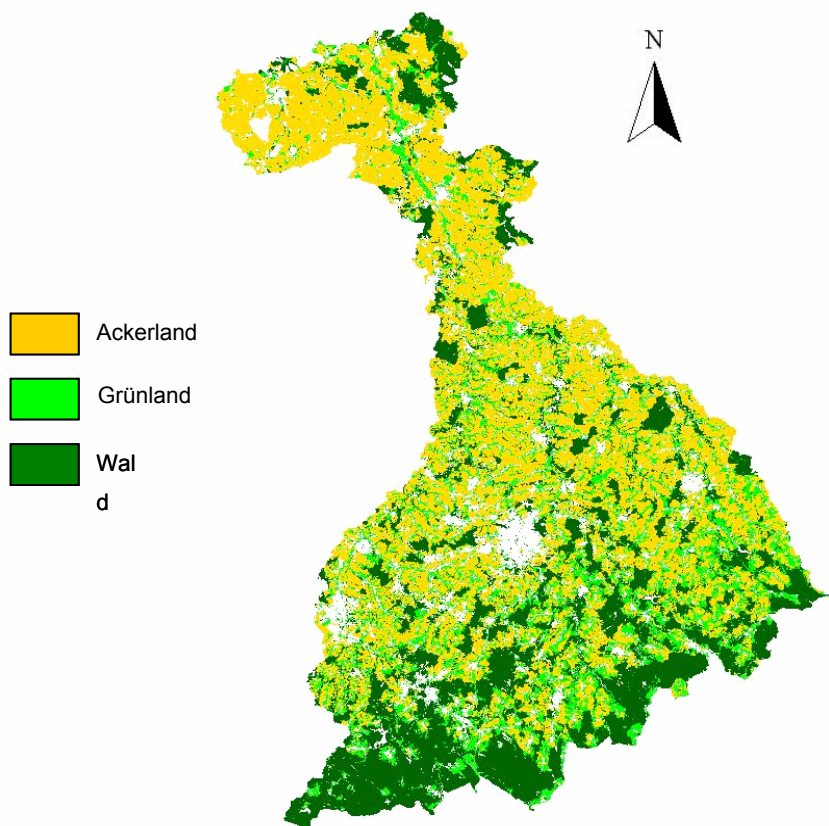


Abbildung 5: Landnutzung des Untersuchungsgebietes (ATKIS-Datensatz, Sächsisches Landesvermessungsamt, Dresden)

Die landwirtschaftliche Ackernutzung stellt mit einem Anteil von 44 % an der Gesamtfläche die eindeutig dominierende Landnutzung dar. Die größten Anteile finden sich hierbei in den Tieflandsbereichen und den Lösshügelländern. Grünlandnutzung beschränkt sich in diesen Naturräumen vor

allem auf die Tallagen und Flächen in Gewässernähe. Im Erzgebirge geht der Anteil der Ackernutzung bedingt durch starke Hangneigungen und die aus landwirtschaftlicher Sicht z. T. wesentlich schlechteren Bodeneigenschaften deutlich zurück. Hier dominieren Grünland, vor allem aber auch Waldnutzung. Trotz allem ist der Umfang der Waldnutzung im Gesamtgebiet mit 17 % Anteil an der Gesamtfläche deutlich geringer vertreten als die landwirtschaftliche Nutzung. Grünland stellt mit einem Anteil von 27 % an der Gesamtfläche die zweithäufigste Landnutzung dar.

2.6 Hydrologie und Hochwasser

Das Flussgebiet der Mulde lässt sich aus hydrographischer Sicht dem Stromgebiet der Elbe zuordnen. Mit einer Gesamtflächegröße von ca. 7 600 km² nimmt es annähernd 5 % des Elbestromgebietes ein.

Das Gewässernetz der sächsischen Mulde setzt sich aus einer Vielzahl kleinerer und größerer Fließgewässer mit ihren Teileinzugsgebieten zusammen. Die bedeutendsten Flüsse sind die Freiburger Mulde und die Zwickauer Mulde, die durch ihren Zusammenfluss nördlich von Colditz die vereinigte Mulde bilden, welche bei Dessau in die Elbe mündet. Die Freiburger Mulde entspringt im Osterzgebirge und wird von verschiedenen Zuflüssen wie Zschopau und Große Striegis gespeist. Die Zwickauer Mulde entspringt im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Hauptzuflüsse sind Schwarzwasser, Lungwitzbach und Chemnitz, die rechtsseitig in die Zwickauer Mulde münden. Die Teileinzugsgebiete der Freiburger Mulde und der Zwickauer Mulde sowie ihrer Zuflüsse bilden zusammen den größten Teil des Muldeinzugsgebietes.

Charakteristisch für die Abflusssdynamik und insbesondere die Hochwassergenese im Einzugsgebiet ist der große Mittelgebirgsanteil am Einzugsgebiet. In der gewässerstatistischen Auswertung zeigt sich der April als abflussreichster Monat. Ursache hierfür sind die durch die Schneeschmelze bedingten Abflüsse aus dem Erzgebirge und dem vorgelagerten Hügelland. Die Analyse der mittleren Hochwasserabflüsse für das Fluss-System weist daraufhin, dass Sommerniederschläge eine stark abflusserhöhende Wirkung haben können. So zeigt der Monat Juli beim Vergleich der Werte für den mittleren Hochwasserabfluss vergleichbare Durchflusswerte wie der abflussreichste Monat April.

Während der Hochwassereignisse im August 2002 zählten die Vereinigte Mulde und ihre Zu- und Nebenflüsse zu den Flussgebieten, die neben der Elbe am stärksten betroffen waren. Verursacht wurde dieses Hochwasser durch eine Extremwetterlage in der ersten Hälfte des Augustes 2002. Die auslösende Vb-Wetterlage war mit ungewöhnlich intensiven Niederschlägen in weiten Teilen des Einzugsgebietes verbunden, die teilweise mehr als 48 h andauerten. So wurde an der Station Zinnwald-Georgenfeld vom 12.08.2002 bis zum 13.08.2002 ein 24-Stunden-Wert der Niederschlagshöhe von 312 mm gemessen. Damit handelt es sich um den größten Tageswert der Niederschlagshöhe, der jemals in Deutschland gemessen wurde. Auf Grund der hohen Niederschlagsintensitäten und Gesamtregenschichten wurden die Infiltrationskapazitäten der Böden

in den betroffenen Gebieten innerhalb kürzester Zeit überschritten. In der Folge traten beträchtliche Oberflächenabflüsse auf, die zu einem raschen Anwachsen der Durchflüsse führten. Im Ergebnis wurden beim August-Hochwasser 2002 Hochwasserstände erreicht, die deutlich über den bis dato bekannten Höchstwasserständen lagen (siehe dazu LfUG, 2004).

3 Bestimmung des Wasserrückhaltepotenzials

3.1 Grundlagen

Der Abfluss eines Gebietes setzt sich aus mehreren Teilprozessen zusammen, die in Abhängigkeit des räumlichen und zeitlichen Betrachtungsmaßstabs von unterschiedlicher Relevanz für die Abflussdynamik im Vorfluter sind. Als wichtigste Abflussbildungsprozesse wären der Infiltrationsüberschuss, der Sättigungsüberschuss, der schnelle Zwischenabfluss und der Grundwasserabfluss zu nennen.

Entscheidend für die Abflussbildung einer hydrologischen Gebietseinheit sind neben der dynamischen Ausbildung verschiedener unter- und oberirdischer Fließvorgänge vor allem die unterschiedlichen Elemente der Wasserspeicherung der Landschaft. Die Art der Abflussbildung entscheidet über die Quantitäten des Niederschlags, die im Gebiet zurückgehalten werden und die Mengen, die in Form von Oberflächen-, Zwischen- oder Grundwasserabfluss aus dem Gebiet abfließen. Eine Beurteilung der potenziellen Möglichkeiten des vorbeugenden Hochwasserschutzes durch Wasserrückhalt in der Fläche ist also einerseits

- a) an die Kenntnis der Abflussprozesse als auch
- b) an die standortbezogene Beurteilung des Speichervermögens des Gebietes

geknüpft.

Die Ermittlung des potenziellen (theoretischen) Wasserrückhaltepotenzials erfolgt in einem zweistufigen Verfahren. Im ersten Schritt erfolgt die Ermittlung der rein bodenkundlich-bodenphysikalischen Komponenten der Wasserspeicherung. Diese Information wird in einem zweiten Schritt mit Informationen zu den dominierenden Abflussprozessen überlagert (vgl. Abbildung 6).

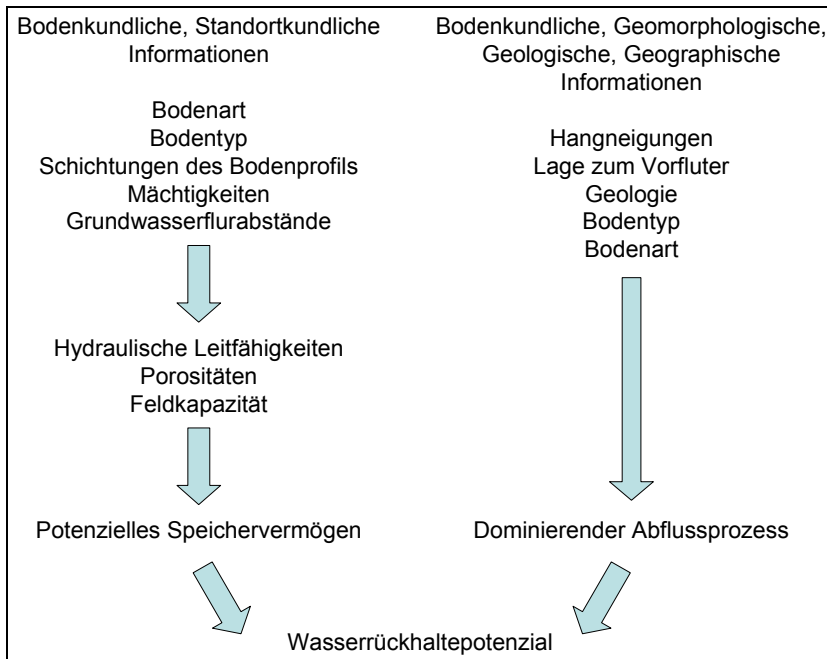


Abbildung 6: Schema zur Ableitung des Wasserrückhaltepotenzials

3.2 Potenzielles Speichervermögen

3.2.1 Definition

Das Wasserrückhaltepotenzial ist definiert als die Fähigkeit einer Gebietseinheit, eine bestimmte Menge Wasser in den Boden infiltrieren zu lassen und hier über eine bestimmte Zeit zurückzuhalten. Die Beurteilung des potenziellen Speichervermögens unter hydrologischen Gesichtspunkten erfordert demzufolge neben der Bewertung der quantitativen Aspekte (Wassermenge) auch die Berücksichtigung des zeitlichen Aspektes. Die Definition des Wasserrückhaltepotenzials erfolgt vollkommen nutzungsunabhängig und dient der Bestimmung des theoretisch auf Grund der boden- und standortkundlichen Eigenschaften zur Verfügung stehenden Speicherraumes.

Das Wasserrückhaltepotenzial für das jeweilige Niederschlagsereignis wird im Wesentlichen durch drei Standorteigenschaften bestimmt:

- Die maximale Wassermenge, die aufgenommen werden kann und sich in Abhängigkeit von der Tiefe des ungesättigten Bodenprofils und den Wasserretentionseigenschaften des Bodenprofils ergibt (Bodenart, Lagerungsdichten),
- die hydraulischen Leitfähigkeiten des Bodenprofils, die über die Infiltrations- und Exfiltrationsgeschwindigkeiten des Bodenspeichers entscheiden (Bodenart, Lagerungsdichten) und
- den Entwässerungszustand des Bodenspeichers zum Zeitpunkt des Niederschlagsereignisses, der seinerseits abhängig ist von den Wasserretentionseigenschaften und bodenhydraulischen Eigenschaften des Bodenprofils sowie Standorteigenschaften (insbesondere Grundwasserflurabstand, Bodenart, Lagerungsdichten) und für die Bestimmung des auf den gravitativen Wasserfluss wirkenden hydraulischen Gradienten maßgeblich ist.

3.2.2 Datengrundlagen

Die Beschreibung der boden- und standortkundlichen Aspekte des Wasserrückhaltepotenzials erfolgte auf der Grundlage vorliegender amtlicher Kartenwerke. Besonderes Augenmerk wurde auf die flächendeckende Beschreibung einerseits und die allgemein gegebene Verfügbarkeit der Daten andererseits gelegt. Folgende Kartenwerke fanden Anwendung:

- Waldbodenkarte – M 1:25.000,
- Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung – M 1:25.000,
- Bodenkonzeptkarte – M 1:25.000,
- Digitales Geländemodell (ATKIS-Datensatz) – M 1:25.000.

Durch die Auswahl der Datengrundlagen sollte nicht zuletzt die Übertragbarkeit des methodischen Vorgehens auf andere Einzugsgebiete gewährleistet werden.

Eine Regionalisierung des Speicherpotenzials erfordert die Einbeziehung der klimatologischen Charakteristik des Einzugsgebietes. Um dies zu gewährleisten, erfolgte die Berechnung des Speicherpotenzials auf der Grundlage der regionalisierten, statistischen Starkniederschlagshöhen für das Einzugsgebiet (DWD, 1997). Ausgewählt wurden hier die ein- und zwölfstündigen sowie die 72-stündigen Ereignisse für die 10- und die 100-jährigen Wiederkehrwahrscheinlichkeit.

3.2.3 Green-Ampt-Infiltration

3.2.3.1 Infiltrationsmodell

Hydrologische Betrachtungen des Wasserrückhaltepotenziales für ausgewählte Niederschlagsereignisse machen eine Separierung von Oberflächenabfluss und Infiltration erforderlich. In zahlreichen hydrologischen Modellen wird die Versickerung im Boden auf der Basis des Green-Ampt-Infiltrationsmodells (GREEN und AMPT, 1911) beschrieben. Durch verschiedene Autoren wurden Modifikationen des Green-Ampt-Ansatzes vorgenommen, um diesen für geschichtete Bodenprofile anwendbar zu machen. Neuere Ansätze stammen von HACHUM und ALFARO (1980), BEVEN (1984) oder SELKER et al. (1999). Für die vorliegende Arbeit wurde ein Ansatz von CHU und MARIÑO (2005) verwendet, der neben Schichtungen im Bodenprofil auch Instationaritäten im Niederschlagsverlauf berücksichtigt. Das Modell wurde für verschiedene Randbedingungen erfolgreich validiert und zeigte auch für das in der vorliegenden Arbeit verwendete Szenario geschichteter Böden und stationäre Niederschlagsereignisse gute Ergebnisse, insbesondere auch beim direkten Vergleich mit einem numerischen Modell für den ungesättigten Wassertransport. Einen Überblick über die Modellvalidierung und eine detaillierte Beschreibung des Modellansatzes findet sich bei CHU und MARIÑO (2005).

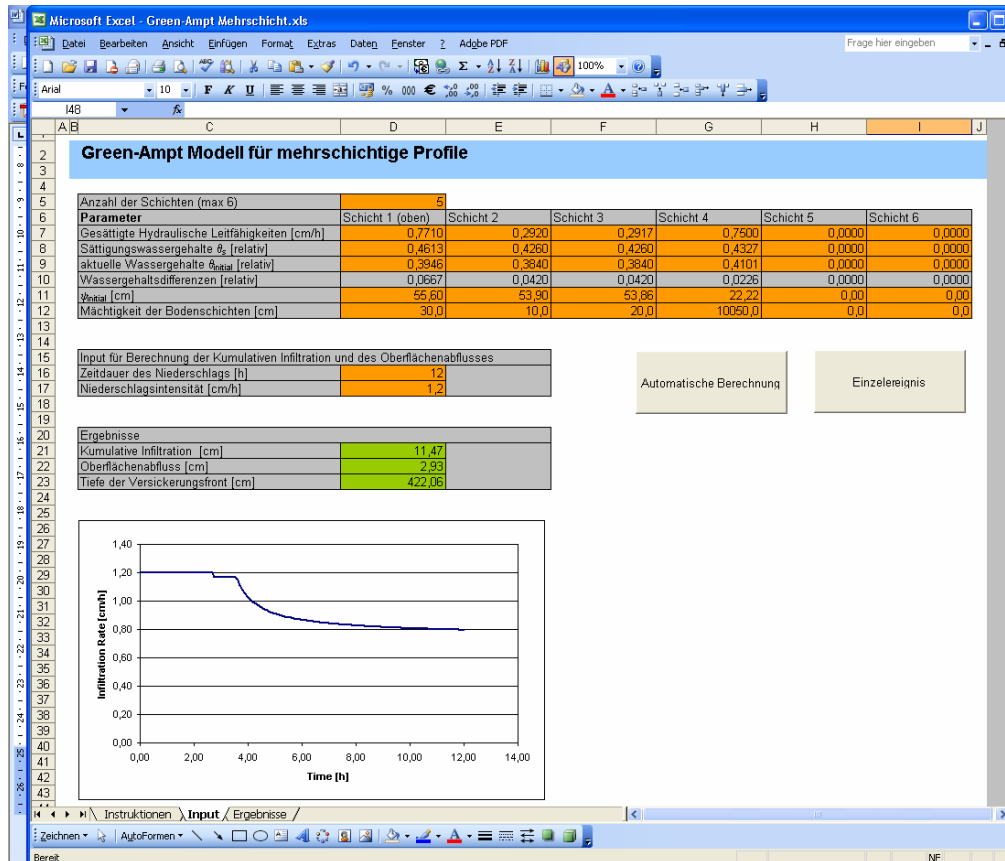


Abbildung 7: Eingabe- und Berechnungsmaske für das Green-Ampt-Modul

Die Modellierung der Infiltration erfolgte in Microsoft Excel (Microsoft Inc., Redmond, WA). Hierfür wurde der Infiltrationsansatz in Form eines Visual-Basic-Codes eingebunden. Das Einlesen der Modellparameter (Horizontabfolgen, bodenartabhängige Kennzeichnung der Wasserretention, Startwassergehalte) für das gesamte Untersuchungsgebiet erfolgte automatisiert durch eine Online-Kopplung des Excel-Moduls mit der Datentabelle der GIS-Bodenkarte. Die Ergebnisse der Modellierung wurden gleichfalls automatisiert in die entsprechende GIS-Datentabelle zurückgeschrieben (s. Abbildung 7).

Durch die Verknüpfung der regionalisierten Starkniederschläge mit den konkreten Boden- und Standorteigenschaften im Einzugsgebiet konnte eine sehr detaillierte Regionalisierung des potenziellen Speichervermögens erreicht werden.

3.2.3.2 Parametrisierung

Um das Rückhaltepotenzial einer Bodenschicht zu definieren, bieten sich bodenkundliche Kennwerte oder Grenzwerte des Bodenwasserhaushaltes als Bezugsgröße an. Der Parameter der Feldkapazität gibt Auskunft über längerfristig speicherbare Wassermengen. Die Definition von Porositäten erlaubt die bodenartspezifische Definition maximaler Speichermengen.

Um das Untersuchungsgebiet hinsichtlich seines Wasserrückhaltepotenzials qualitativ-quantitativ bewerten zu können, war es auch hier erforderlich, definierte Bezugszustände festzulegen.

Hydrologische Fragestellungen erfordern eine möglichst standortkorrekte Beschreibung des Bodenwasserhaushaltes unter Einbeziehung der zeitlichen Komponente der Entwässerung. Eine rein bodenartabhängige Definition der Feldkapazität über eine definierte Saugspannung (z. B. $h = 63$ cm bzw. $pF = 1,8$) vernachlässigt den instationären Charakter des Entwässerungsvorganges. Darüber hinaus können andere Einflussgrößen, die den Wert der Feldkapazität (als die Menge an Wasser, die an einem Standort zu einem definierten Zeitpunkt vorhanden ist) beeinflussen (v. a. Grundwasserflurabstände), nicht berücksichtigt werden (ZACHARIAS und BOHNE, 2007).

Ausgehend von diesen Überlegungen erfolgte eine Definition des Ausgangszustands des Bodenwasservorrates, die eine Einbeziehung der Entwässerungsdauer erlaubte. Um unterschiedliche Austrocknungszustände in die Bewertung des potenziellen Speichervermögens einbeziehen zu können, wurden drei Ausgangszustände definiert – Bodenwasservorrat nach 5-tägiger, 10-tägiger und 15-tägiger gravitativer Entwässerung (Gl. 1).

$$SC = \theta_s * d - W_{5,10,15 d}$$

(Gl. 1)

SC potenziell zur Verfügung stehender Speicherraum [mm]

d Mächtigkeit der betrachteten Bodenschicht [mm]

θ_s Sättigungswassergehalt [cm^3/cm^3]

$W_{5, 10, 15 d}$ Bodenwasservorrat nach 5-, 10- bzw. 15-tägiger Entwässerung [mm]

Die von der Korngrößenverteilung und den Lagerungsverhältnissen bestimmte Wasserretentionscharakteristik eines Bodens - $\theta(h)$ - kennzeichnet die Abhängigkeit der Bodenwassergehalte von den gegebenen Saugspannungsverhältnissen. Die Beziehung zwischen Wassergehalt und Saugspannung lässt sich für jede Bodenart in Abhängigkeit der typischen Porengrößenverteilung definieren. Die mathematische Beschreibung kann z. B. über die Beziehung nach van Genuchten (1980) erfolgen.

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha h)^n\right]^{(1-1/n)}}$$

(Gl. 2)

θ_r Restwassergehalt [cm^3/cm^3]

θ_s Sättigungswassergehalt [cm^3/cm^3]

α Optimierungsparameter [cm^{-1}]

n Optimierungsparameter [dimensionslos]

Zur bodenartspezifischen Beschreibung der van Genuchten-Beziehung (Gl. 2) wurde auf eine im Rahmen dieses Projektes neu abgeleitete Pedotransferfunktion zurückgegriffen (Zacharias und Wessolek, 2007). Diese Pedotransferfunktion erlaubt die bodenartenabhängige Schätzung der van Genuchten-Parameter und wurde insbesondere auch für deutsche Böden erfolgreich validiert.

Gegenüber anderen Pedotransferansätzen, die häufig zur Parametrisierung bodenhydrologischer Modelle in regionalen Maßstäben eingesetzt werden, besitzt die neue Funktion den Vorteil, dass auf die Angabe des Gehaltes an organischer Bodensubstanz als Prädiktor verzichtet wird und lediglich Angaben zur Textur und Lagerungsdichte benötigt werden. Die alleinige Verwendung von Textur und Lagerungsdichte erleichtert die Nutzung in mittel- und kleinmaßstäbigen Modellen deutlich. Angaben zur Textur können auf der Grundlage der vorliegenden digitalen Kartenwerke einzugsgebietsweit abgeleitet werden. Über die Angaben mittlerer, bodenartenabhängiger Lagerungsdichten können außerdem noch Einflüsse der Bodentiefe und Landnutzung berücksichtigt werden.

Die Kenntnis der bodenartenspezifischen Wasserretentionfunktion (Gl. 2) erlaubt die Berücksichtigung der Instationarität des gravitativen Wassertransportes in der ungesättigten Bodenzone und damit die Einbeziehung der Entwässerungszeit bei der Berechnung des Bodenwasservorrates (bzw. des freien Porenraumes). Die grundlegende Gleichung zur Beschreibung der Wasserbewegung – die Richards-Gleichung – erlaubt die mathematische Beschreibung des Entwässerungsvorganges. Vorliegende analytische Lösungen für spezielle Randbedingungen oder die Nutzung numerischer Lösungsverfahren ermöglichen eine einfache Anwendung. Bei Kenntnis der bodenartenabhängigen Porengrößenverteilung lässt sich mit Hilfe dieser Verfahren der zeitliche Verlauf der Sickerwasserbewegungen relativ einfach abschätzen. In dieser Arbeit wurden sowohl analytische Lösungsverfahren (ZACHARIAS und BOHNE, 1997; BOHNE, 2005) als auch die numerische Lösung der Richards-Gleichung verwendet.

Um den gravitativen Sickerwasserabfluss zu berechnen, wurden die Rechenprogramme TPM (BOHNE, 2005) und HYDRUS-1D, Ver. 3.0 (SIMUNEK et al., 2005) eingesetzt. Hierbei nutzt HYDRUS-1D eine numerische Lösung der Richards-Gleichung. Bei bestimmten Parameterkonstellationen (insbesondere bindige Böden mit geringer gesättigter hydraulischer Leitfähigkeit) können im Zusammenhang mit der gewählten und für alle Bodenarten konstant gehaltenen zeitlichen Diskretisierung numerische Instabilitäten im Rechenlauf auftreten, die zu physikalisch inkorrekten Ergebnissen führen. In diesen Fällen wurde auf analytische Lösungen der Richards-Gleichung zurückgegriffen (SOFTWARE TPM, BOHNE, 2005), welche gleichfalls die Berechnung der Entwässerung grundwasserferner und grundwassernahe Bodenprofile erlaubt.

Unter Nutzung dieser Methodik erfolgte die Berechnung der Bodenwassergehalte unter Einbeziehung der Entwässerungszeit für alle deutschen Bodenarten. Grundlage der Berechnung war ein homogenes Bodenprofil von 100 cm Mächtigkeit. Startwert der Entwässerungsberechnung war eine jeweils 95%ige Sättigung des Porenraumes. Gleichzeitig erfolgte eine separate Berechnung für unterschiedliche Lagerungsdichten und für grundwasserferne und grundwassernahe Bodenprofile (angenommener Grundwasserflurabstand 100 cm). Mit Hilfe der Pedotransferfunktion von Adams (1973) konnte außerdem der Einfluss der organischen Bodensubstanz auf die Lagerungsdichte ermittelt und damit eine Differenzierung in Ober- und Unterböden vorgenommen werden. Die auf

diese Weise ermittelten Bodenwasservorräte (in Abhängigkeit von Textur, Lagerungsdichte, Grundwasserflurabstand, Entwässerungszeit) bildeten den Ausgangswert für die zu berechnende Green-Ampt-Infiltration.

Strenggenommen erlaubt die angewendete Methodik nur die Ableitung von Bodenwassergehalten für homogene Bodenprofile. Der Einfluss der im Einzugsgebiet anzutreffenden Bodenschichtungen, die bei der Green-Ampt-Infiltration berücksichtigt wurde, findet in den so errechneten Bodenwassergehalten keine Einbeziehung. Theoretisch erlaubt die numerische Lösung der Richards-Gleichung natürlich auch die Einbeziehung der Bodenschichtung in die Berechnung der Entwässerung. Angesichts der im Untersuchungsgebiet anzutreffenden und zu berücksichtigenden Horizont-Abfolgen (Anzahl > 6 000) war solch ein Vorgehen jedoch nicht umsetzbar. Erste Untersuchungen zeigen, dass die Effekte der Bodenschichtung auf die gravitative Entwässerung im Wesentlichen durch den Zusammenhang zwischen Wasserspannung und ungesättigter hydraulischer Leitfähigkeit der unterlagernden Bodenschicht bestimmt werden, wobei die Effekte umso geringer ausfallen, je kleiner die hydraulische Leitfähigkeit der überlagernden Schicht ist (ZACHARIAS und BOHNE, 2007). Allerdings ist zu erwarten, dass eine Einbeziehungen der Bodenschichtung nur für sehr wenige Bodenartenkombinationen zu relevanten Differenzen für die in dieser Arbeit relevante Fragestellung führen wird. Darüber hinaus tritt das Problem der Nicht-Einbeziehung der aktuellen Bodenschichtung auch bei der Mehrzahl anderer Verfahren (z. B. Parametrisierung mit Hilfe bodenartenspezifischer Kennwerte der Feldkapazität) auf und ist damit kein spezifischer Nachteil der hier vorgestellten Methodik.

3.3 Dominierender Abflussprozess

Neben den in Abschnitt 3.2 beschriebenen, im Wesentlichen durch die Porengrößenverteilung bestimmten Speichereigenschaften des Bodens bestimmt die Art der Abflussbildung einer Gebiets-einheit als zweite Komponente über das Wasserrückhaltepotenzial eines Einzugsgebietes. Die Abflussbildung entscheidet über die Anteile des Niederschlags, die oberflächlich oder unterirdisch gehalten werden können und die Anteile, die als Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss oder Grundwasserfluss dem Vorfluter zufließen. Für die Hochwasserbildung eines Einzugsgebietes von besonderer Bedeutung sind hierbei die „schnellen“ Abflusskomponenten.

Im Rahmen einer Kooperation mit der Projektgruppe HochNatur wurde das wissensbasierte Entscheidungssystem FLAB auf das Projektgebiet angewendet. Dieses am Lehrstuhl für Umwelt-Biotechnologie, Internationales Hochschulinstitut Zittau (IHI) entwickelte Planungsinstrument, ermöglicht die rechnergestützte Kennzeichnung des dominierenden Abflussprozesses für bestimmte Landschaftseinheiten. Auf der Grundlage von regionalisierten Informationen zur Geologie, zur bodenkundlichen Ausstattung, zur Geländemorphologie, der Nutzung und der Lagebeziehungen des Gewässernetzes werden über vordefinierte, expertengestützte Entscheidungsregeln Flächen gleicher hydrologischer Reaktion ausgewiesen. Eine detaillierte Beschreibung des Regelwerks findet sich in PESCHKE et al. (1999).

Folgende dominierende Abflussprozesse können mittels WBS-FLAB im Einzugsgebiet differenziert werden:

- Hortonscher Oberflächenabfluss,
- Sättigungsflächenabfluss,
- Zwischenabfluss an Schichtgrenzen und ohne Schichtgrenzen,
- Speicherung mit verzögerter Versickerung oder in stark verdichteten Böden und
- Versickerung mit temporärer Speicherung oder ohne Stauerscheinungen.

Weiterhin ist eine qualitative Differenzierung hinsichtlich der Geschwindigkeit der Abflusskomponente möglich.

Im Hinblick auf den vorbeugenden Hochwasserschutz durch einen Wasserrückhalt in der Fläche sind alle Flächen von Interesse, die auf Grund der Abflussbildung eine längerfristige Speicherung ermöglichen. Flächen, die z. B. durch Oberflächenabfluss dominiert werden oder auf denen versickerndes Wasser einem schnellen Zwischenabfluss unterliegt, setzen einer wirksamen Erschließung unterirdischer Wasserrückhaltekapazitäten dagegen enge Grenzen.

Das Entscheidungshilfesystem FLAB verwendet in seinen Algorithmen auch Informationen zur Landnutzung. Um sich für die Fragestellung des vorliegenden Projektes dem Begriff des Wasserrückhalte-„Potenzials“ anzunähern, wurden hier die Angaben zur potenziell natürlichen Vegetation verwendet. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass sich in den quantitativen Angaben zum potenziellen Speichervermögen tatsächlich das „Potenzial“ des Wasserrückhalts von Landschaft und Boden widerspiegelt und Einflüsse der aktuellen Landnutzung ausgeschlossen sind.

3.4 Ergebnisse

Eine Verschneidung der WBS-FLAB-Ergebnisse mit den ermittelten Speicherpotenzialen erlaubt:

- a) eine qualitative Beschreibung des Untersuchungsgebietes hinsichtlich Lage und Ausdehnung geeigneter Flächen für den vorbeugenden Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche sowie die
- b) gleichzeitige Quantifizierung des Rückhaltepotenzials im Einzugsgebiet.

Die Analyse der standörtlichen, hydrologisch relevanten Eigenschaften des Einzugsgebietes der Vereinigten Mulde zeigt eine charakteristische Zweiteilung des Untersuchungsgebietes. Der südliche Teil des Einzugsgebietes im Bereich des Erzgebirges und Erzgebirgs-Vorlandes wird klar durch Böden geringerer Mächtigkeit und starke Hangneigungen charakterisiert. Demgegenüber zeichnen sich die Flächen im Mittel- und Unterlauf des Einzugsgebietes durch eher geringe Hangneigungen und größere Bodenmächtigkeiten aus (Abbildung 8).

Die Erzgebirgsregion ist durch das flächenhafte Auftreten von Lehmböden und typischen Sandablagerungen in den Tälern der Vorfluter gekennzeichnet (vgl. auch Kapitel 2.4). Das Mulde-Lösshügelland wird durch die Schluffböden dominiert, während sich im Unterlauf des Einzugsgebietes

tes die eiszeitlichen Sandablagerungen zeigen. Die Flussaue im Mittel- und Unterlauf zeigen teilweise ausgedehnte Auenlehmlagerungen (Abbildung 9).

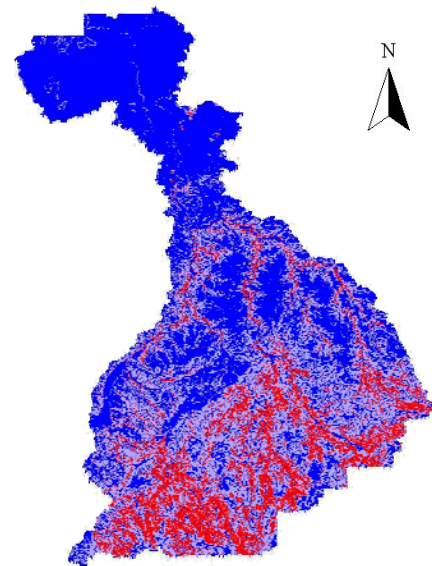
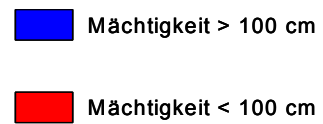
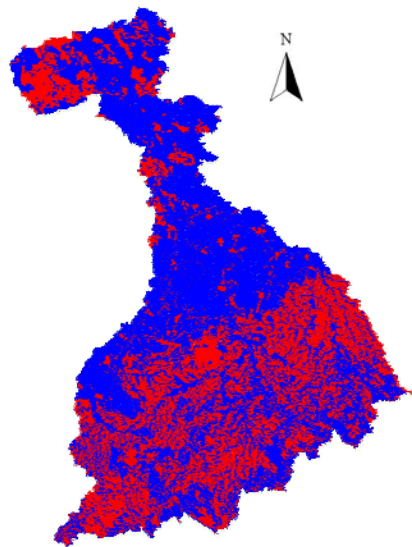


Abbildung 8: Bodenmächtigkeiten (links) und Hangneigungen (rechts) im Untersuchungsgebiet (Digitales Geländemodell des ATKIS-Datensatzes, Sächsisches Landesvermessungsamt, Dresden)

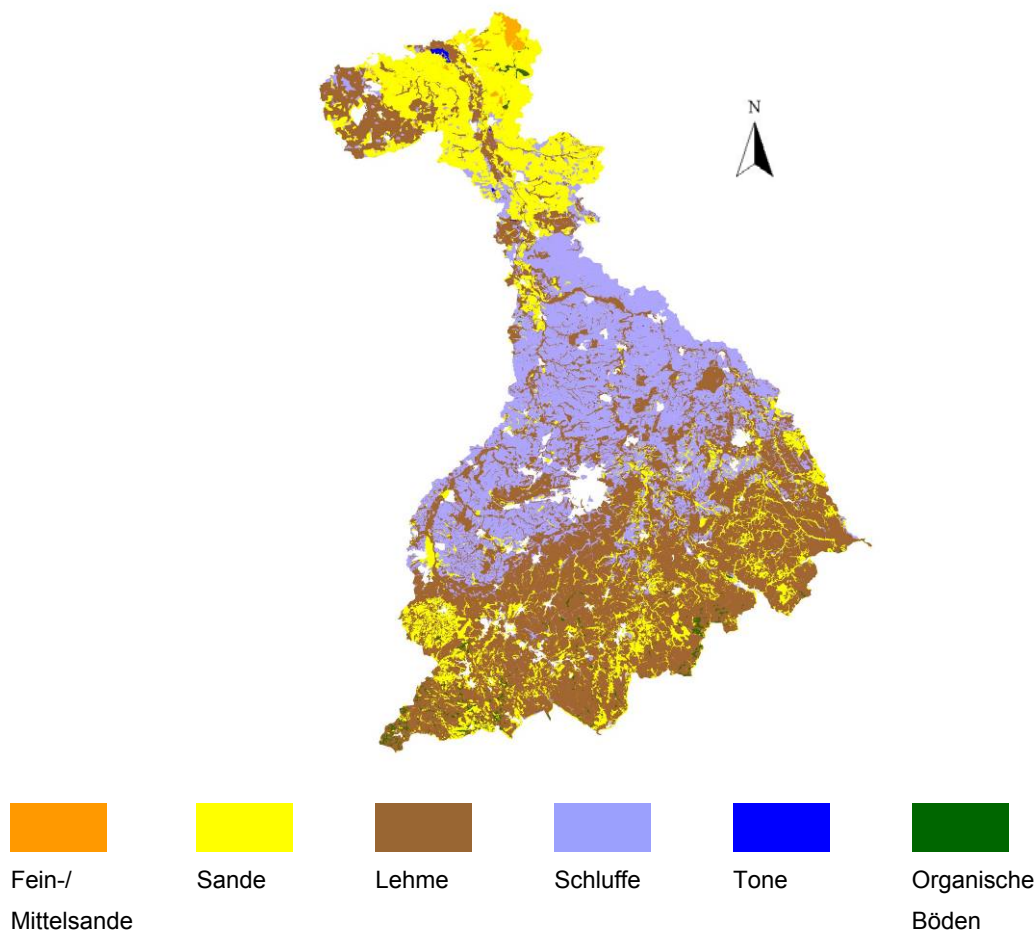
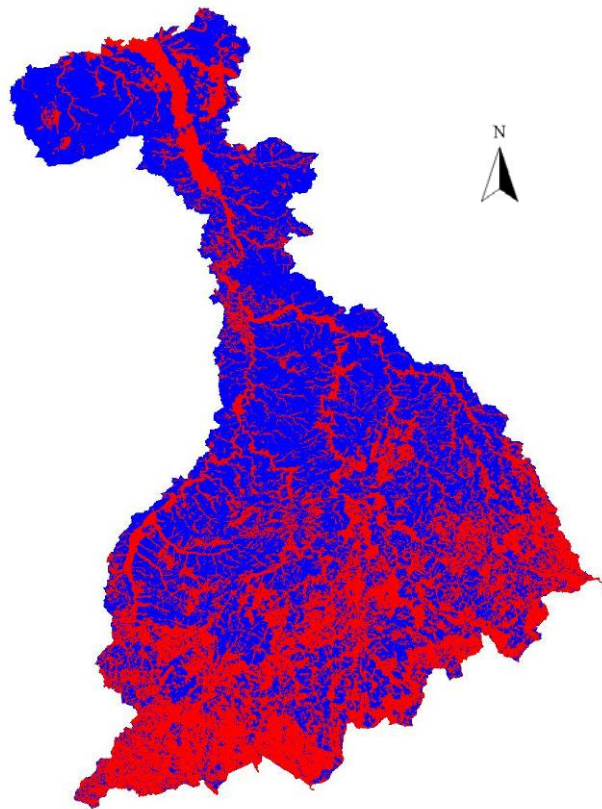


Abbildung 9: Bodenarten (aggregiert) des Oberbodens im Einzugsgebiet (Bodenkonzeptkarte, LfUG Freiberg)

Die geomorphologischen, bodenkundlichen und standörtlichen Eigenschaften des Untersuchungsgebietes finden in der hydrologischen Bewertung ihre funktionale Entsprechung. Das Zusammenspiel von Hangneigung, Bodenauflage, Geologie und Bodenart schlägt sich deutlich in der Bewertung der Abflussprozesse nieder. Die Abbildung 10 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Verteilung der durch das hydrologische Entscheidungssystem diagnostizierten dominanten Abflussprozesse. Es wird deutlich, dass der Oberlauf des Gebietes stark durch Flächen mit schnellen Abflusskomponenten dominiert wird. Die Kombination aus starker Hangneigung und geringmächtiger Bodenauflage bei gleichzeitig direkt unterlagerndem Grundgebirge resultiert hier sehr oft im Auftreten von schnellen Zwischenabflüssen. Dagegen kann im Bereich des Mittel- und Unterlaufes infolge der großen Bodenmächtigkeiten bei oft nur geringen Hangneigungen oft eine tiefe Versickerung der Niederschläge stattfinden. Flächen, die durch die Bildung von Sättigungsflächenabflüssen gekennzeichnet sind, finden sich insbesondere in den Flussauen und in unmittelbarer Gewässernähe oft im Hangfußbereich.



Langsame Abflusskomponenten

Verzögerter Zwischenabfluss

Tiefenversickerung



Schnelle Abflusskomponenten

Zwischenabfluss

Schneller Zwischenabfluss

Flächen mit geringem Infiltrationsvermögen

Sättigungsflächenabfluss

**Abbildung 10: Verteilung der dominanten Abflussprozesse im Einzugsgebiet (aggregiert)
(nach WBS FLAB)**

Die typische Verteilung der Bodenarten mit ihren entsprechenden bodenhydraulischen Eigenschaften sowie die Bodenmächtigkeit schlagen sich natürlich auch in der Berechnung des potenziellen Speichervermögens nieder. Abbildung 11 enthält eine grafische Darstellung der ermittelten Speichereigenschaften für ein 72-stündiges Regenereignis mit 100-jährlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit im Einzugsgebiet. Dargestellt ist hier die Relation zwischen ermittelter Infiltrationsmenge und angenommener Regenmenge.

Vor-Regen-Entwässerung

5 d

10 d

15 d

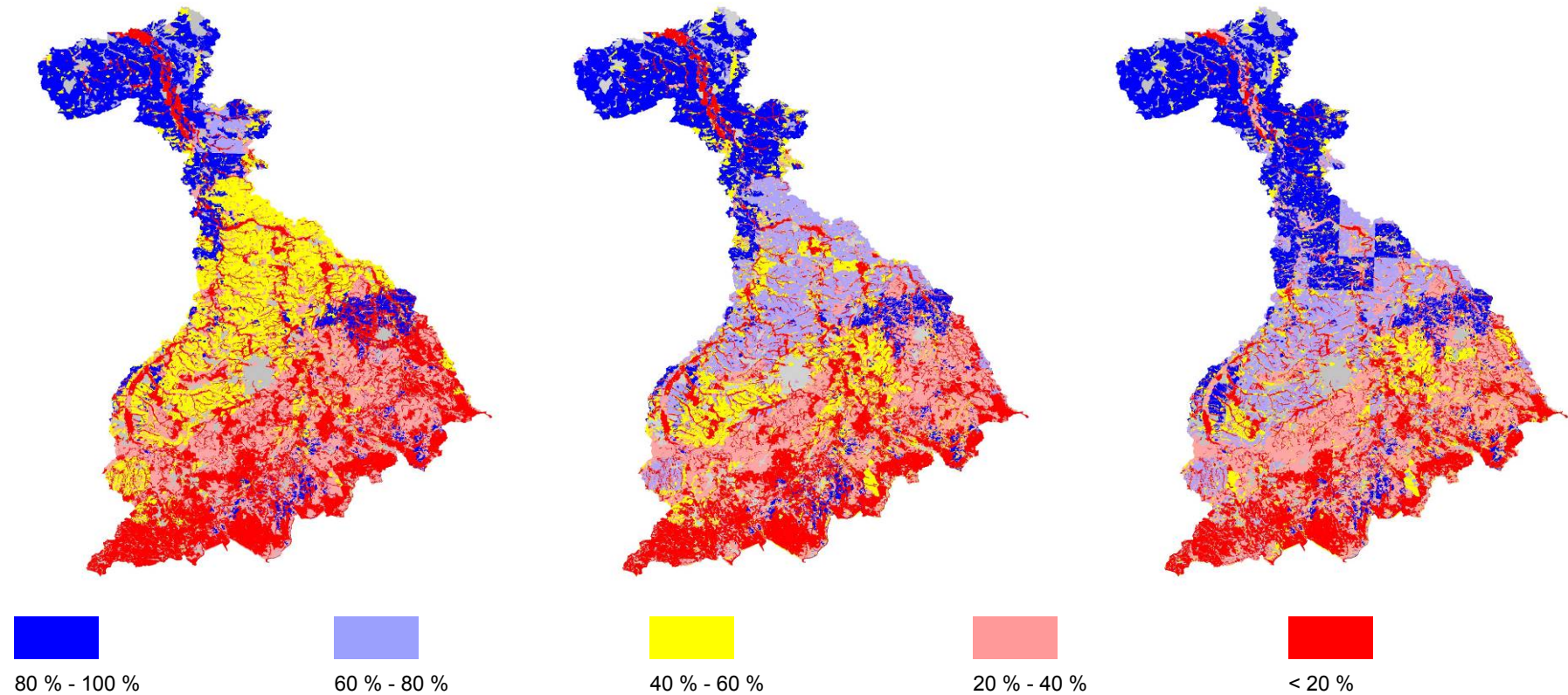


Abbildung 11: Potenzielles Speichervermögen des Untersuchungsgebietes in Abhängigkeit von der Vor-Regen-Entwässerung – Anteil des infiltrierenden Wasser im Verhältnis zur Gesamtregennmengen

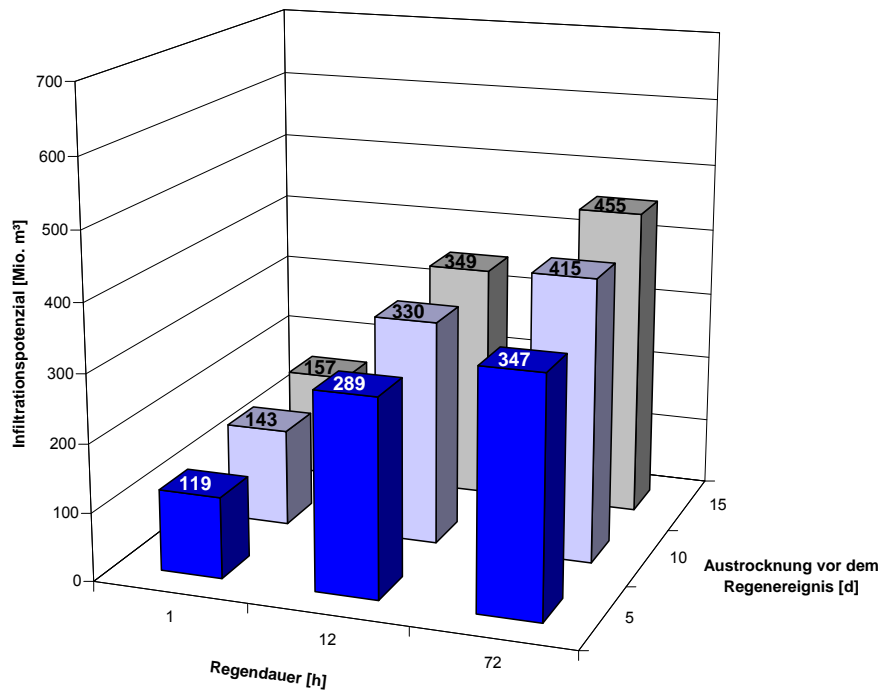
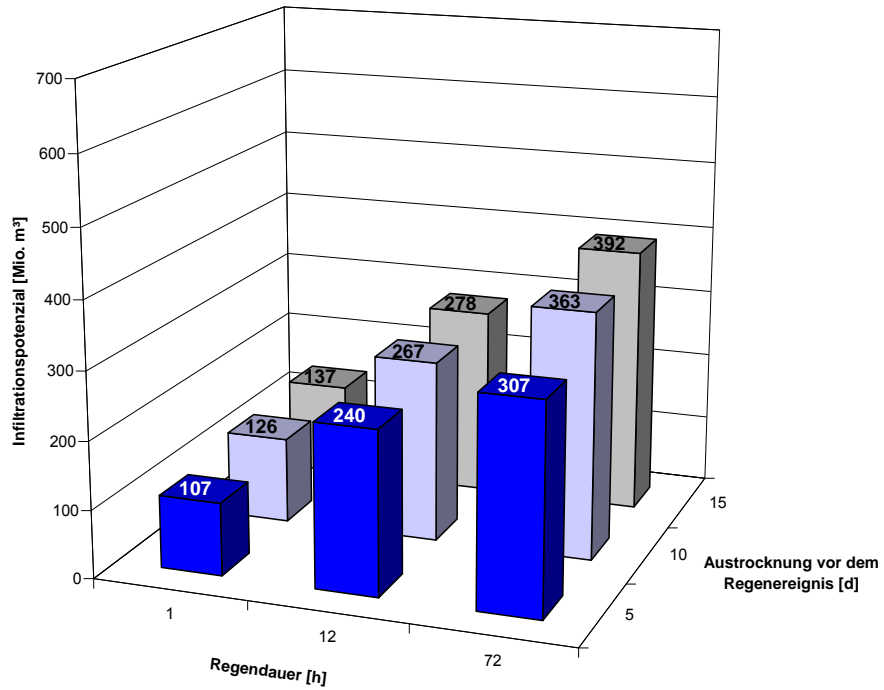


Abbildung 12: Theoretische Gesamtinfiltration für das Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von Regendauer und Vor-Regen-Entwässerung – Niederschlag 10-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit (oben) und 100-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit (unten)

Zu bemerken ist an dieser Stelle, dass die dargestellten Ergebnisse das theoretische Speichervermögen der Böden kennzeichnen, wie es sich allein auf Grund der angenommenen bodenhydraulischen Eigenschaften errechnet und bei einer theoretischen Überregnung entsprechend der verwendeten Regenhöhen und -intensitäten auf Basis der KOSTRA-Daten (DWD, 1997) ergibt. Die Infiltration negativ beeinflussende Prozesse wie Versiegelung, Verschlammung oder Verdichtung bzw. ggf. die Infiltration erhöhende Effekte infolge z. B. nutzungsinduzierter Makroporen fanden keine Berücksichtigung.

Durch die Zusammenführung der quantitativen Angaben zum potenziellen Speichervermögen mit den qualitativen Aspekten aus der Bewertung der Abflussprozesse wird die weitere Betrachtung auf Flächen beschränkt, für die ein langsamer Abflussprozess als dominierend definiert wurde und es ergibt sich eine flächendeckende Bewertung der Senkenpotenziale des Untersuchungsgebietes. Der Begriff „Senkenpotenzial“ definiert an dieser Stelle die Fähigkeit einer Landschaftseinheit, eine bestimmte Wassermenge aufzunehmen (Infiltration) und diese auch über einen (unter dem Gesichtspunkt des vorbeugenden Hochwasserschutzes) relevanten Zeitraum im Boden zurückzuhalten. Die folgenden Abbildungen (Abbildung 13 bis Abbildung 15) zeigen die räumliche Verteilung der Senkenpotenzialflächen im Einzugsgebiet für das berechnete theoretische Niederschlagsereignis mit 100-jährlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit.

Die Ergebnisse machen die Abhängigkeit des Abflussgeschehens von der Niederschlagscharakteristik deutlich. Das betrachtete 1-h-Regenereignis ist durch sehr hohe Niederschlagsintensitäten gekennzeichnet. Die Infiltrationskapazität der Böden wird in weiten Bereichen des Untersuchungsgebietes durch die Regenintensität überschritten. Ein 12-h-Regenereignis resultiert zwar in einer insgesamt größeren Gesamt-Regenmenge, die Regenintensitäten sind jedoch deutlich geringer als für ein einstündiges Ereignis gleicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit. Diese Eigenschaft resultiert in einer deutlich größeren Wasseraufnahme der Böden. Bereits nach einer Austrocknung von fünf Tagen wären weite Teile des Einzugsgebietes in der Lage, Regen dieser Charakteristik fast vollständig aufzunehmen. Das betrachtete 72-h-Regenereignis ist durch die hohen Gesamtregenmengen gekennzeichnet. Der verfügbare Speicherraum der Böden ist nur beschränkt in der Lage, diese Wassermengen aufzunehmen. Für diese Regenereignisse zeigen sich eine besonders starke Abhängigkeit der Abflussbildung von der klimatischen Vorgeschichte und der deutliche Einfluss von der Dauer der Vor-Regen-Entwässerung.

Vor-Regen-Entwässerung

5 d

10 d

15 d

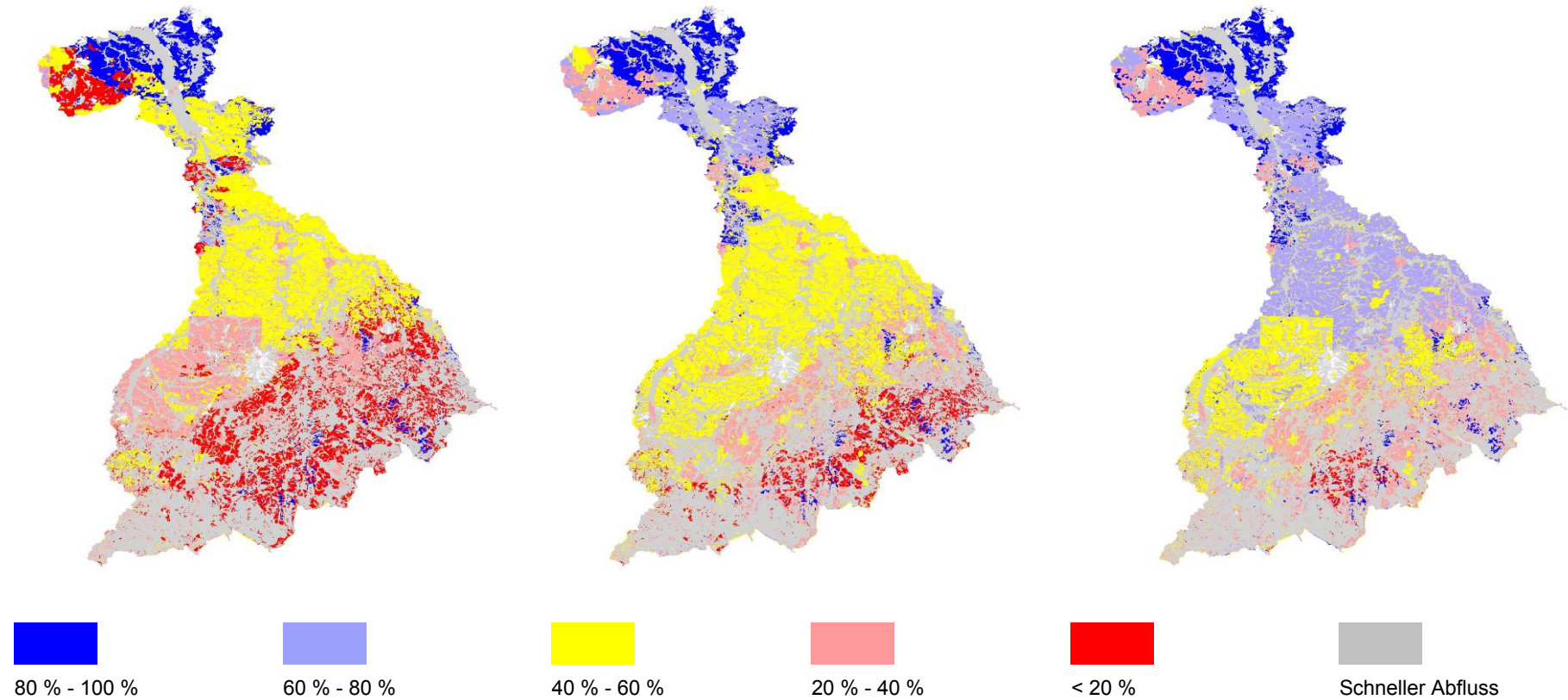


Abbildung 13: Niederschlag 100-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit, Dauer 1 h – Verteilung der Senkenpotenziale im Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Vor-Regen-Entwässerung – Anteil des infiltrierenden Wassers im Verhältnis zur Gesamt-Regenmenge

Vor-Regen-Entwässerung

5 d

10 d

15 d

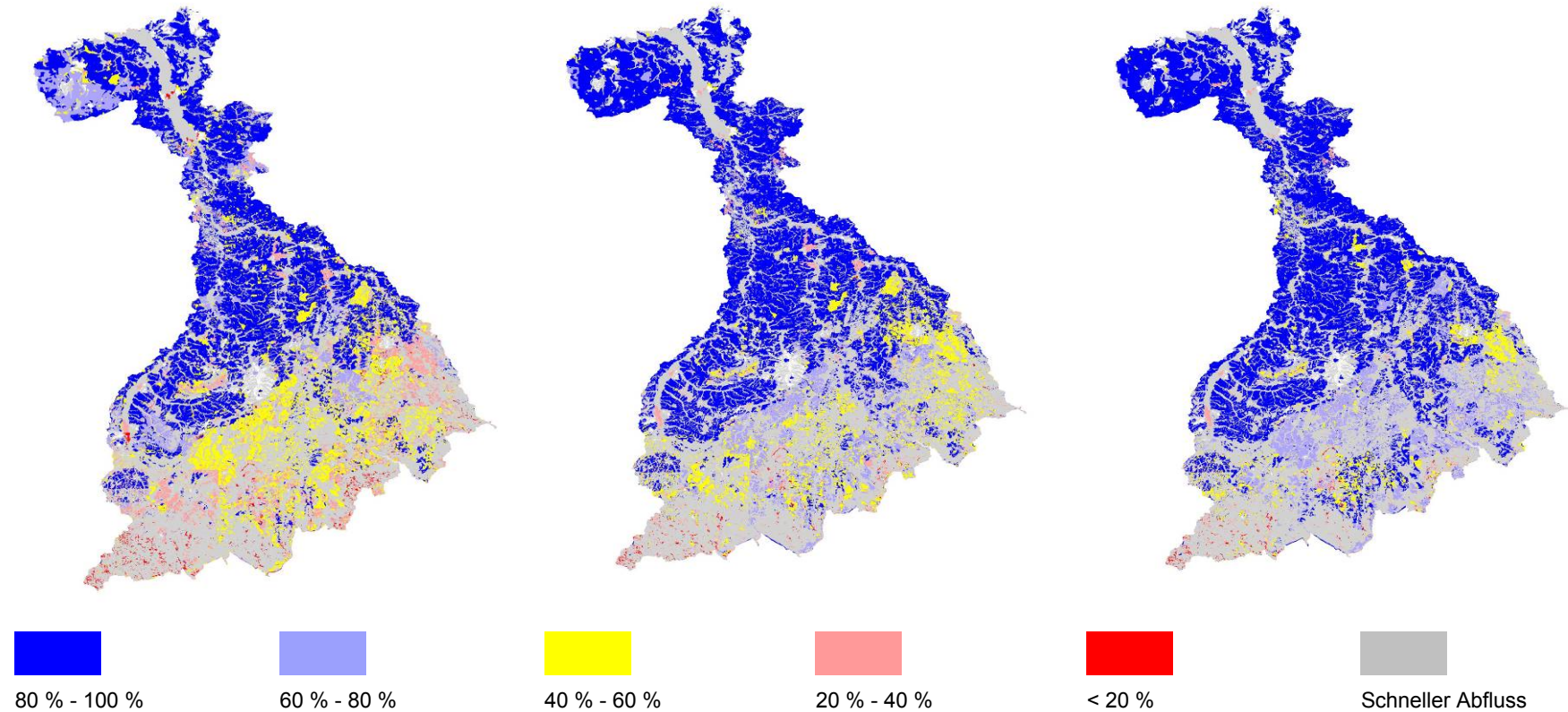


Abbildung 14: Niederschlag 100-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit, Dauer 12 h – Verteilung der Senkenpotenziale im Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Vor-Regen-Entwässerung – Anteil des infiltrierenden Wassers im Verhältnis zur Gesamt-Regenmenge

Vor-Regen-Entwässerung

5 d

10 d

15 d

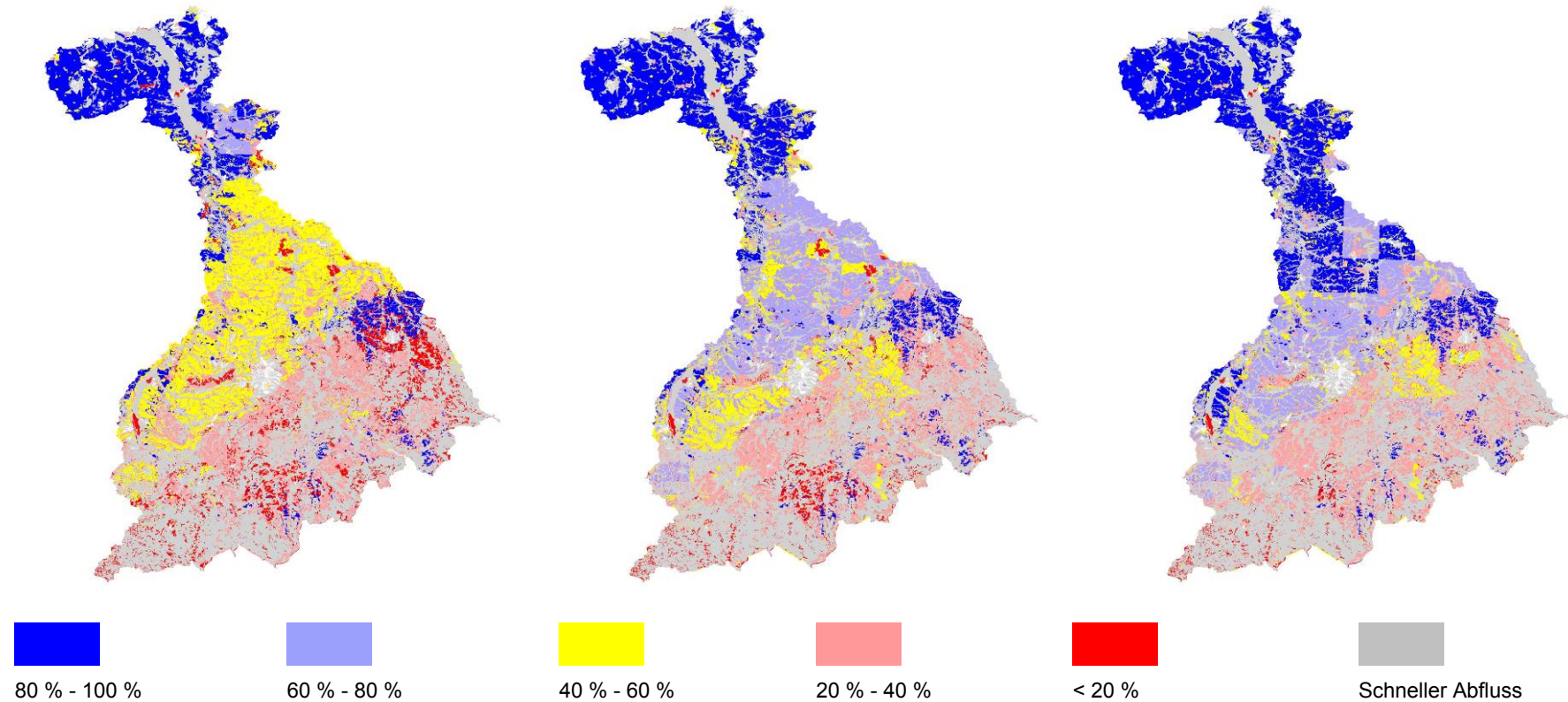


Abbildung 15: Niederschlag 100-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit, Dauer 72 h – Verteilung der Senkenpotenziale im Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Vor-Regen-Entwässerung – Anteil des infiltrierenden Wassers im Verhältnis zur Gesamt-Regenmenge

Die Gegenüberstellung von errechneten Infiltrationsmengen und angenommenen Regenmengen zeigt, dass das gesamte Einzugsgebiet über ein Senkenpotenzial verfügt, das je nach Regenereignis ca. 15 % - 45 % der Gesamt-Regenmenge beträgt (Abbildung 16). Der beschriebene Zusammenhang zwischen Regenintensität und Regenmenge sowie Infiltrationskapazität und verfügbarem Bodenspeicher wird in dieser Gegenüberstellung besonders deutlich. Für das 12-h-Ereignis konnten die mit Abstand größten relativen Anteile des Gesamtniederschlages zur Infiltration gebracht und der Abflussbildung entzogen werden. Bereits nach einer fünftägigen Entwässerung des Bodenkörpers beträgt der Anteil des Senkenpotenzials bereits 25 % der Gesamtregenmenge. Für das einständige und 72-h-Regenereignis sind die Anteile deutlich geringer.

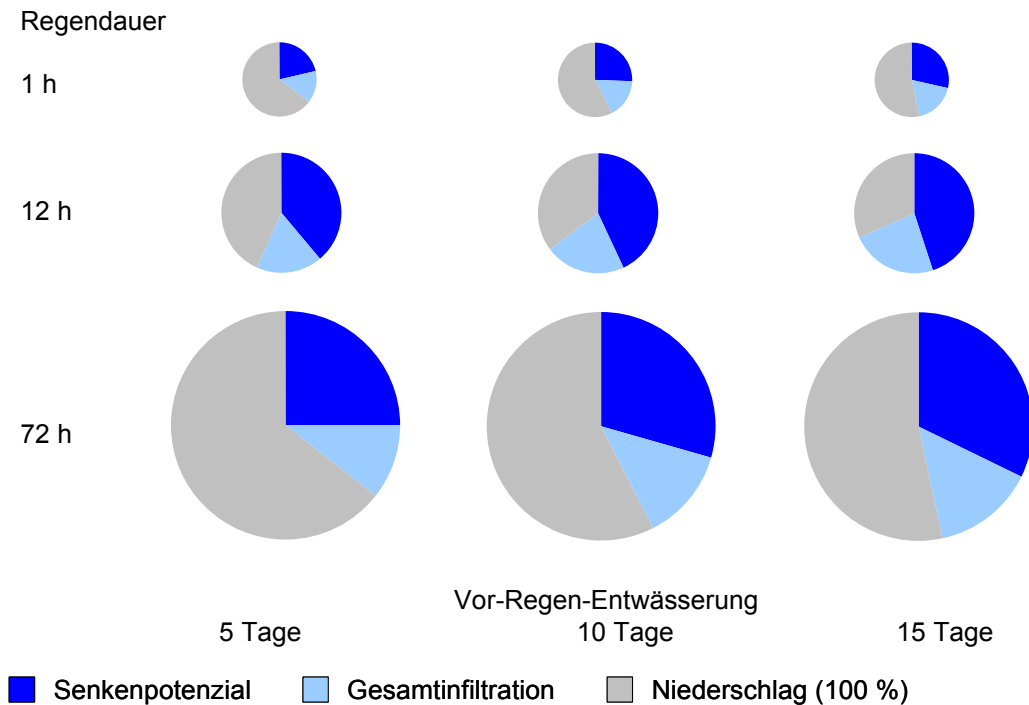
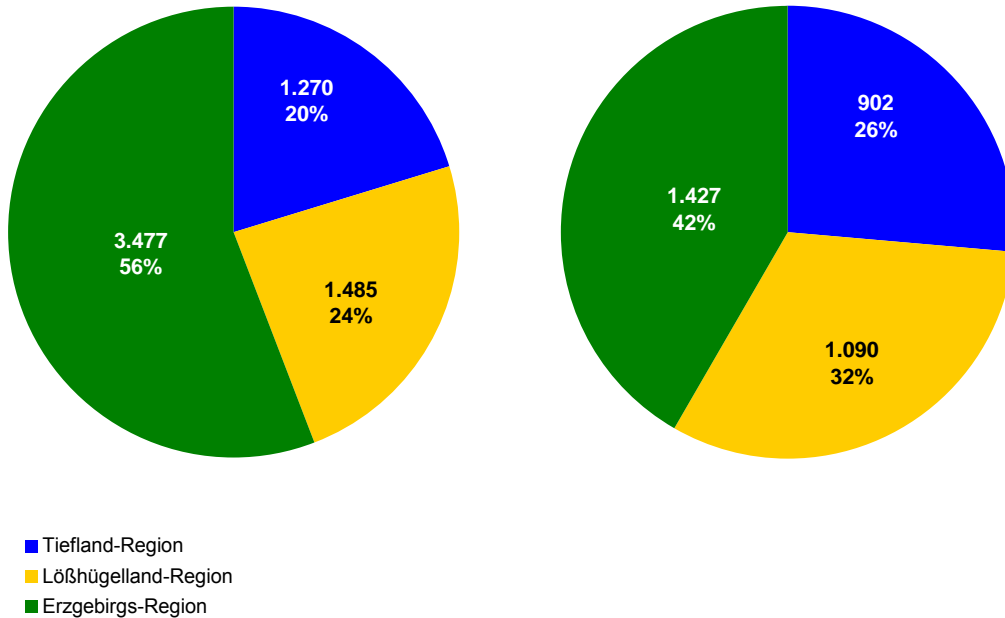


Abbildung 16: Anteile von Infiltration und Senkenpotenzial am Gesamtniederschlag für des gesamte Untersuchungsgebiet (Größe der Kreise in Relation zur Gesamtregenmenge)

In der räumlichen Verteilung der Senkenpotenziale bilden sich die geografischen, geologischen, geomorphologischen und standörtlichen Eigenschaften des Untersuchungsgebietes ab. Um eine bessere Differenzierung dieser Effekte vornehmen zu können, wurde eine Detailanalyse der Ergebnisse unter Berücksichtigung der naturräumlichen Gliederung vorgenommen. Hierzu wurde das Untersuchungsgebiet in drei Teilgebiete unterteilt, deren räumliche Abgrenzung auf der Basis der in Kapitel 2.2 beschriebenen naturräumlichen Klassifizierung der Makrogeochoren erstellt wurde. Folgende Makrogeochoren wurden zu einer „hydrologischen Region“ zusammengefasst (s. auch Abbildung 2). Diese Einteilung entspricht den in Kapitel 2.2 für das Untersuchungsgebiet beschriebenen europäischen Naturraumregionen nach MANNSFELD und RICHTER (1995).

- Tiefland-Region: Nordsächsisches Platten- und Hügelland, Düben-Dahlener Heide, Leipziger Land, Bitterfelder Bergbaurevier, Köthener Ebene
- Lösshügelland-Region: Ostthüringisches Lösshügelland, Mulde-Lösshügelland, Mittelsächsisches Lösshügelland
- Erzgebirgs-Region: Ost-Erzgebirge, Mittleres Erzgebirge, West-Erzgebirge, Erzgebirgsbecken, Vogtland.



Anteil an der Gesamtfläche

Anteil an der Senkenpotenzialfläche

Abbildung 17: Anteile der Einzugsgebiets-Regionen an der Gesamtfläche und der Senkenpotenzial-Fläche des Untersuchungsgebietes (Angaben in km² und prozentuale Anteile)

Die Kombination aus geringer Bodenmächtigkeit bei gleichzeitig geringem freien Porenraum und geringen hydraulischen Leitfähigkeiten reduziert das potenzielle Speichervermögen der Böden insbesondere in der Erzgebirgs-Region. Während im Mittel- und Unterlauf (Tiefland- und Lösshügelland-Region) – die angenommene hydraulische und hydrologische Leistungsfähigkeit vorausgesetzt – 60 % bis teilweise deutlich mehr als 80 % der Regenmenge versickern können, sind die Anteile im Bereich des Erzgebirges und deutlich geringer. Die Erzgebirgs-Region umfasst mit ca. 3 500 km² mehr als 50 % des Gesamteinzugsgebietes (s. Abbildung 17). Auf Grund der genannten abflussbeeinflussenden Standorteigenschaften ist der Anteil dieser Region an der Senkenpotenzialfläche mit ca. 40 % jedoch deutlich geringer. Für die Tiefland- und Lösshügelland-Region dagegen sind die relativen Anteile an der Senkenpotenzialfläche deutlich größer als ihr Anteil an der Gesamtfläche des Mulde-Einzugsgebietes.

Diese naturräumlichen Beeinflussungen der Abflussbildung werden besonders deutlich, wenn die errechneten Infiltrationsmengen für die drei Regionen des Untersuchungsgebietes den angenommenen Regenmengen gegenübergestellt werden (Abbildung 18 - Abbildung 20). Während in der Tieflands- und Lösshügelland-Region je nach Niederschlagsereignis theoretisch 30 % bis über 60 % des Niederschlags über das Senkenpotenzial aufgenommen werden können, ist der Anteil für das Erzgebirge mit lediglich ca. 15 % - 20 % sehr gering. Im Falle des 1-h-Regens ist die Ursache vor allem in den geringen hydraulischen Leitfähigkeiten der dominierenden Lehme zu sehen.

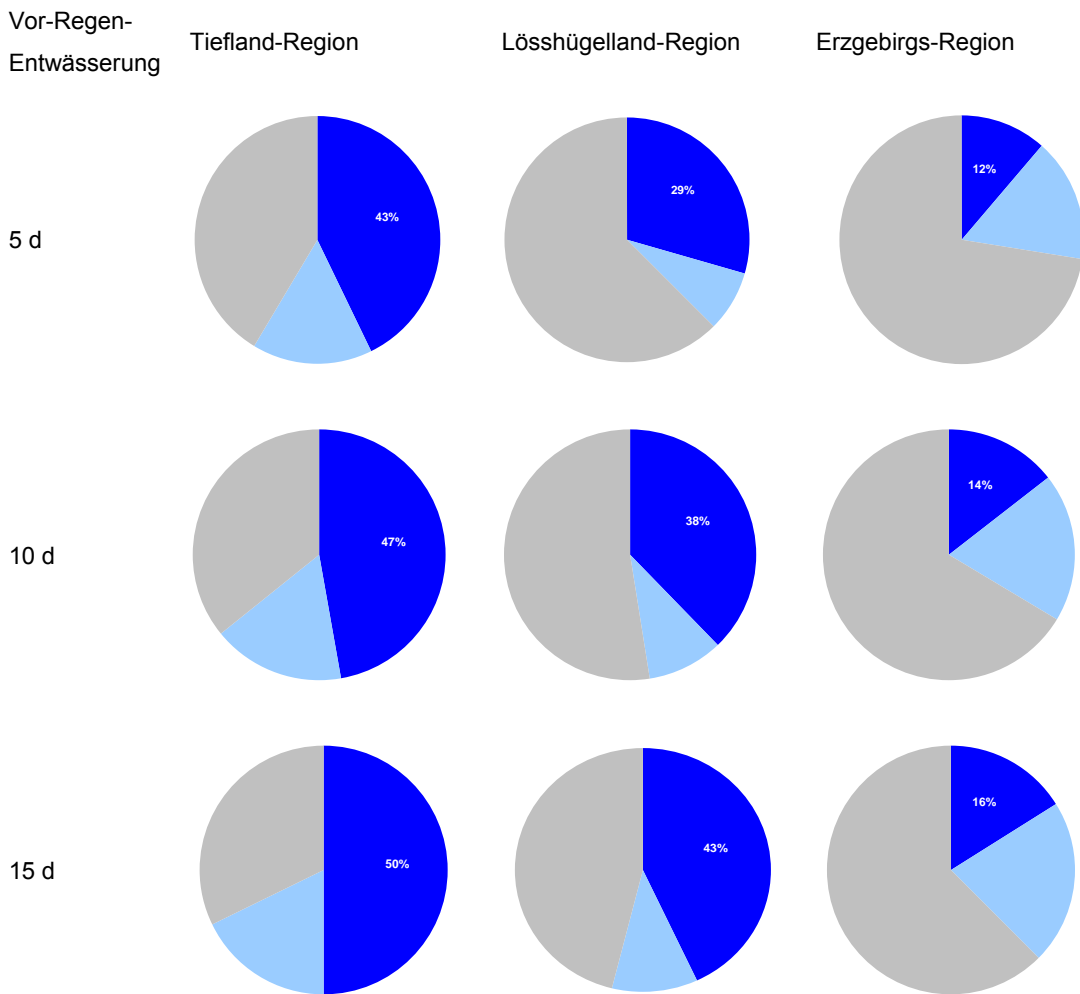


Abbildung 18: Anteile von Infiltration und Senkenpotenzial am Gesamtniederschlag für die drei Einzugsgebiets-Regionen – 1-h-Regen

Die Kreisdiagramme veranschaulichen den Einfluss der klimatologischen Vorgeschichte auf die Abflussbildung deutlich. Der mit zunehmender Entwässerungsdauer wachsende freie Porenraum des Bodenkörpers ist für die Wasseraufnahmefähigkeit von entscheidender Bedeutung. So zeigen Schluffböden der Lösshügelland-Region infolge ihres hohen Mittelporenanteiles deutlich größere

ungesättigte hydraulische Leitfähigkeiten als z. B. die Lehmböden der Erzgebirgs-Region. Im Ergebnis können hier auch nach mehrtägiger gravitativer Entwässerung noch relevante Sickerwasserbewegungen stattfinden, die zu einer Erhöhung des freien Porenraumes beitragen. Dieser Effekt wird bei der Betrachtung der sich entwickelnden Speicherpotenziale besonders deutlich (s. auch Abbildung 11). Während in der Lösshügelland-Region (Schluffböden) eine Erhöhung der Vor-Regen-Entwässerung von 5 d auf 10 d bzw. auf 15 d zu einem spürbaren Vergrößerung des Speicherraumes führt, ist solch ein Effekt bei den Lehmböden des Erzgebirges deutlich geringer. Der Effekt der Vor-Regen-Entwässerung wird auch sichtbar, wenn die Gesamt-Mengen der theoretischen Infiltration betrachtet werden (Abbildung 12).

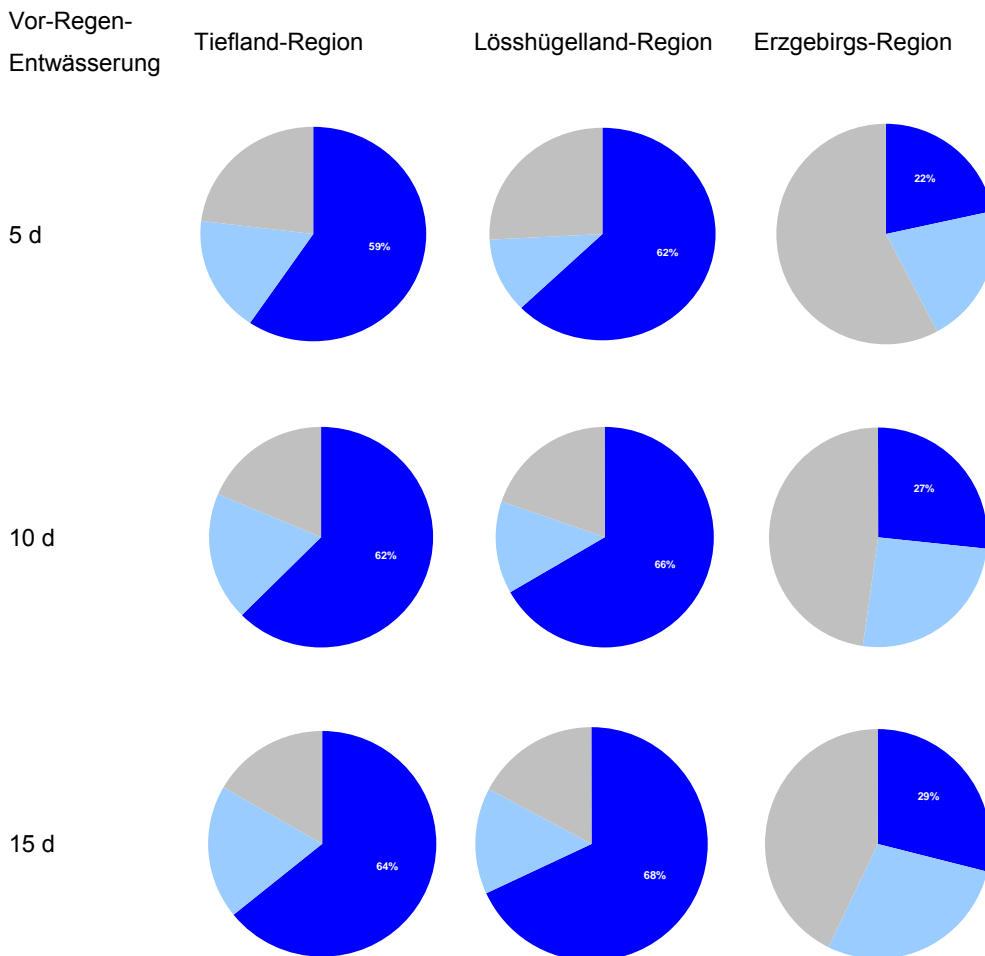


Abbildung 19: Anteile von Gesamtinfiltration (hellblau) und Senkenpotenzial (dunkelblau) am Gesamtniederschlag (grau) für die drei Einzugsgebiets-Regionen – 12 h-Regen

Bezogen auf das Senkenpotenzial stellen die Tieflands- und die Lösshügelland-Region die leistungsfähigsten Bereiche des Untersuchungsgebietes dar. Das Erzgebirge als klassisches Hochwasserentstehungsgebiet ist auf Grund der oft geringen Mächtigkeit seiner Böden bei gleichzeitig

starken Hangneigungen und der hohen Verbreitung von Lehmböden nur beschränkt in der Lage, Starkregenereignissen über einen Wasserrückhalt im Boden abflussmindernd entgegenzuwirken. In diesem Zusammenhang ist die Betrachtung der konkreten Landnutzung im Untersuchungsgebiet von besonderem Interesse. Abbildung 21 zeigt die Anteile der unterschiedlichen Landnutzungen bezogen auf die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes sowie die Senkenpotenzialfläche. Die Ackernutzung stellt mit 44 % Anteil an der Gesamtfläche die deutlich dominierende Landnutzungsform dar. Die Verteilung der Landnutzungen im Untersuchungsgebiet (Abbildung 5) zeigt auch, dass die Ackernutzung insbesondere in der Tieflands- und Lösshügelland-Region verbreitet ist. Dies resultiert in einem mit 62 % überproportional hohen Anteil der Ackernutzung an den Senkenpotenzialflächen. Gleichzeitig macht diese Tatsache die besondere Bedeutung der Landwirtschaft und der landwirtschaftlichen Bodenutzung für den vorbeugenden Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche besonders deutlich.

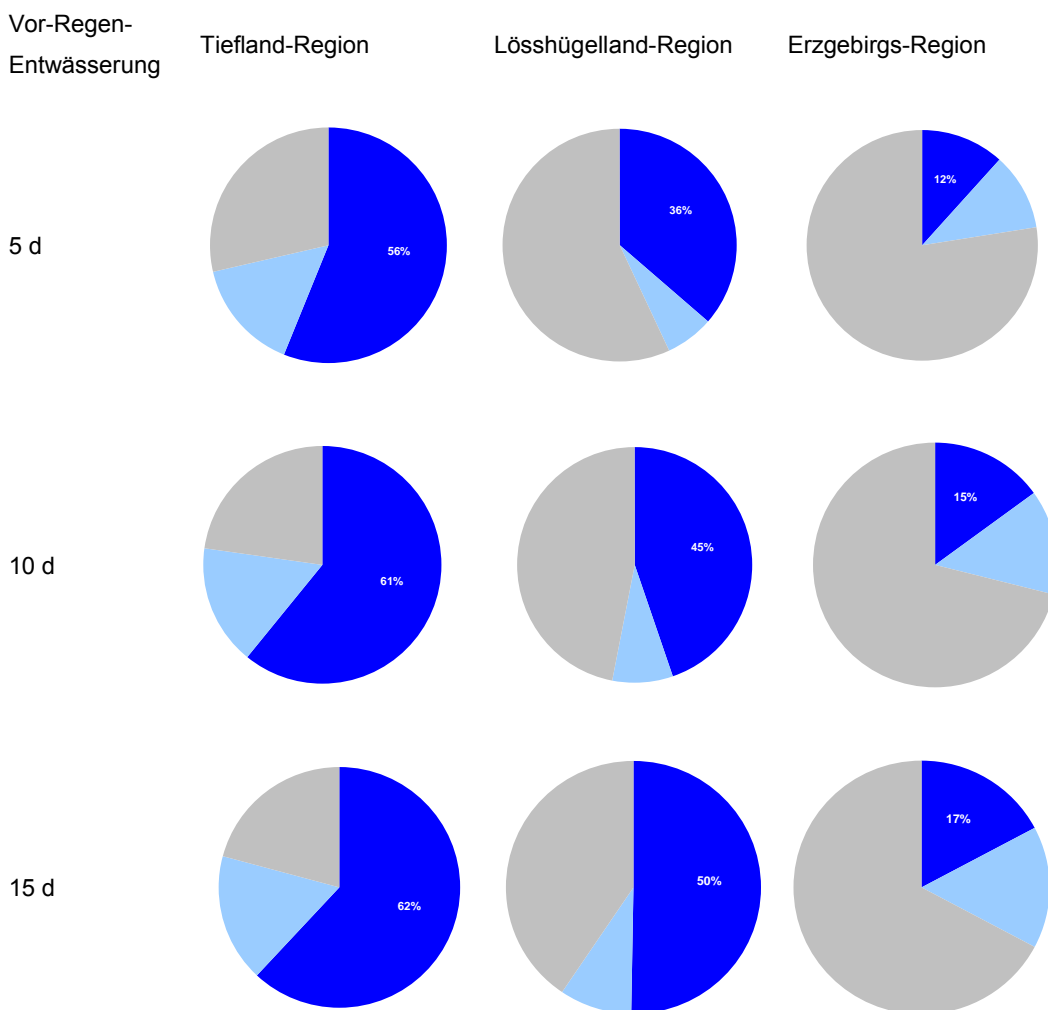
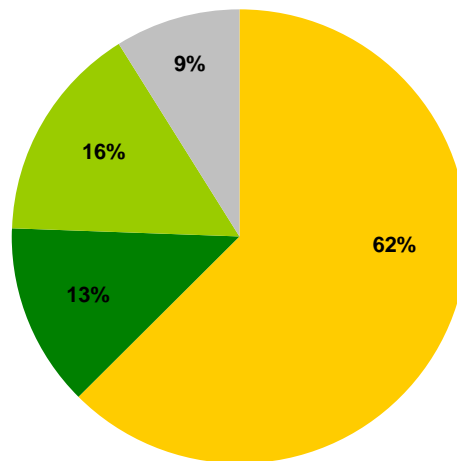
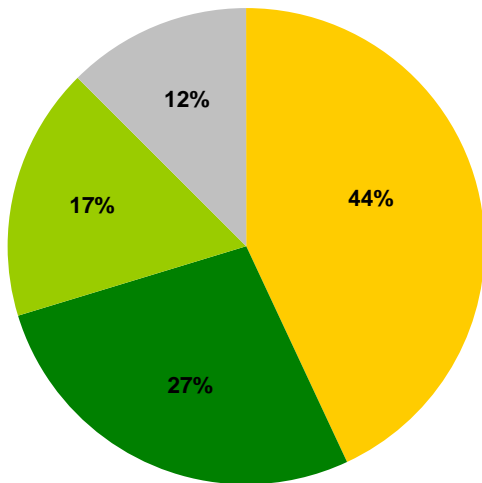


Abbildung 20: Anteile von Gesamtinfiltration (hellblau) und Senkenpotenzial (dunkelblau) am Gesamtniederschlag (grau) für die drei Einzugsgebiets-Regionen – 72 h-Regen



Anteil an der Gesamtfläche

Anteil an der Senkenpotenzialfläche

Abbildung 21: Anteile der Landnutzung an der Gesamtfläche und Senkenpotenzialfläche des Einzugsgebiete

4 Maßnahmenkatalog für einen flächenhaften Hochwasserschutz

4.1 Maßnahmenkatalog für den Siedlungsbereich

4.1.1 Auswahl der Maßnahmen

Im Einzugsgebiet der Mulde sind 10 % der Flächen Siedlungsgebiete. Das Gros dieser Fläche liegt im Bereich der Städte des Einzugsgebietes. Hierzu zählen u. a. die Städte Chemnitz, Freiberg, Grimma, Aue, Annaberg-Buchholz, Marienberg Glauchau sowie große Teile der Stadt Zwickau. Es fällt auf, dass die meisten Städte im Ober- und Mittelauf der Mulde liegen und von wichtigen Nebengewässern der Mulde durchflossen werden. Um diese Siedlungsgebiete zu entwässern, sind die meisten Flächen in den genannten Stadtgebieten an die Misch- oder Trennkanalisation angeschlossen.

Neben den Stadtgebieten gibt es eine Vielzahl von kleineren Siedlungen, von denen der überwiegende Teil in den Auen des Gewässersystems liegt. In ländlichen Bereichen mit geringer Siedlungsdichte nimmt die Verbreitung der Misch- oder Trennkanalisation und damit der Anschlussgrad deutlich ab. Hier entwässern die Grundstücke direkt in die Gewässer oder werden bereits dezentral bewirtschaftet.

Der entscheidende Mangel der direkten d. h. ungedrosselten Ableitung liegt darin, dass das Niederschlagswasser dem natürlichen Wasserkreislauf verloren geht. Groß dimensionierte Kanäle sind nötig, um für wenige Stunden im Jahr das Wasser eines starken Regens ableiten zu können. Beim Mischsystem werden die abgeleiteten Wassermengen teilweise in Rückhalte- und Überlaufbecken zwischengespeichert. Diese Beckenvolumina sind jedoch vielen Niederschlagsereignissen nicht gewachsen und so werden regelmäßig große Abflussspitzen ungereinigtem Mischwassers in die Gewässer geleitet. Beim Trennsystem werden durch zwei Kanalsysteme die Abwasserströme nach Schmutzwasser und Regenwasser getrennt abgeleitet. Allerdings kann das Regenwasser nicht mehr verdunsten oder versickern, sondern wird unmittelbar in Bäche und Flüsse eingeleitet.

Das Prinzip, Niederschlagswasser so schnell wie möglich aus bebauten Gebieten abzuleiten, wird deshalb aus wasserwirtschaftlichen, ökologischen und ökonomischen Gründen zunehmend in Frage gestellt. Bei der weiteren Anwendung der bisherigen Entwässerungspraxis sind Störungen des Wasserhaushaltes die Folge. Große Mengen mehr oder weniger verschmutzten Regenwassers senken den Wirkungsgrad der Kläranlagen und können in den oberirdischen Gewässern zu großen hydraulischen Belastungen, ökologischen Problemen und nicht zuletzt zu Hochwasserverschärfungen führen.

Der Anschluss versiegelter Flächen an die Kanalisation sollte daher auch in besiedelten Bereichen nur auf die Fälle beschränkt bleiben, in denen eine stärkere Verschmutzung des Niederschlagswassers oder fehlende Bewirtschaftungsmöglichkeiten es unvermeidbar machen. Ausgehend von den oben genannten Problemen der konventionellen Regenwasserableitung wurden die Maßnahmen ausgewählt, die die negativen Auswirkungen von Siedlungsgebieten minimieren, den gewohn-

ten „Entwässerungskomfort“ in Siedlungsgebieten gewährleisten und gleichzeitig positive Auswirkungen auf den vorbeugenden Hochwasserschutz haben.

Die „neuen“ Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung setzen auf die

- Entsiegelung von Flächen,
- zentrale oder dezentrale Versickerung von Niederschlägen,
- unmittelbare Ableitung des Niederschlagswassers – soweit notwendig – in ein Oberflächengewässer.

Aus der Vielzahl möglicher Maßnahmen, die sich diese Prinzipien zu Eigen machen, wurden die ausgewählt, die für die unterschiedlichsten Standorte geeignet sind und ihre technischen, wasserwirtschaftlichen und finanziellen Vorteile im langjährigen Betrieb unter Beweis gestellt haben. Der Maßnahmenkatalog für die Siedlungsgebiete beschränkt sich auf die technischen Lösungen zur Versickerung, Rückhaltung und ggf. gedrosselter Ableitung von Niederschlagswasser sowie die Ableitung ins Gewässer (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Maßnahmenkatalog für die Siedlungsgebiete

1	Flächenversickerung
2	Muldenversickerung
3	Versickerung mit unterirdischer Speicherung (Mulden-Rigolen-Element)
4	Versickerung mit Ableitung (Mulden-Rigolen-System)
5	Versickerung mit Ableitung und Stauwasserbewirtschaftung (Mulden-Rigolen-Systeme)
6	Ableitung ins Gewässer

4.1.2 Maßnahmensteckbriefe für den Siedlungsbereich

Für jede der Maßnahmen im Siedlungsbereich wurden erläuternde Maßnahmensteckbriefe erarbeitet (Ausnahme: Maßnahme 5). Die Struktur der Maßnahmensteckbriefe wird in Kapitel 4.2.2 erläutert. Die Steckbriefe sind im Anhang dieses Berichtes zu finden. Die in den Steckbriefen zusammenfassend dargestellten Fakten und Erfahrungen basieren auf zahlreichen vorangegangenen Forschungsprojekten, Ingenieurplanungen und Bauvorhaben, die von Herrn Prof. Sieker und der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH in den letzten Jahren gesammelt wurden. An dieser Stelle soll stellvertretend auf folgende Arbeiten hingewiesen werden:

- Abschlussbericht des DBU-Forschungsvorhabens WSM300 „Verbesserte Ansätze für Wasser- und Stoffstrommanagement in intensiv genutzten kleinen Einzugsgebieten auf der Grundlage von integrierten Nutzen- und Risikobewertungen“ (www.wsm300.de).
- „Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten und gewerblichen Bereich - Grundlagen und Ausführungsbeispiele“ von Friedhelm Sieker, Mathias Kaiser und Heiko Sieker, Fraunhofer IRB Verlag, 2006. (www.sieker.de).

- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, DWA-A 138, GFA, Hennef 2005 (www.dwa.de).

Für die Maßnahme 5 in Tabelle 1 wurde keine separater Maßnahmensteckbrief, weil sich die Stauwasserbewirtschaftung nicht auf die Charakterisierung der Maßnahme auswirkt. Es muss beachtet werden, dass die Stauwasserbildung die Versickerungsfähigkeit des Bodens einschränkt. Dies hat Auswirkungen auf die Dimensionierung des Mulden-Rigolen-Systems, die immer standortangepasst, also unter Beachtung der Boden- und Bodenwasserverhältnisse, erfolgen muss.

4.1.3 Diskussion

Bereits im Rahmen der Maßnahmenauswahl wurde erläutert, warum die Maßnahmen zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung bei dieser Untersuchung im Mittelpunkt stehen. Die Maßnahme „Ableitung ins Gewässer“ wurde in den Maßnahmenkatalog aufgenommen, obwohl sie keine Retentionswirkung und damit keinen positiven Effekt für den Hochwasserschutz hat. Die Betrachtung dieser Maßnahmen erfolgte mit Blick auf die Erstellung realistischer Umsetzungsszenarien (siehe Kapitel 6.2). Weil diese Maßnahme für Grundstücke in unmittelbarer Nachbarschaft zu Gewässern die mit Abstand kostengünstigste Maßnahme darstellt, wäre es realitätsfremd gewesen, sie unberücksichtigt zu lassen. Die konventionelle Ableitung wurde ebenfalls in Form eines Maßnahmensteckbriefes vorgestellt. Sie steht im Gegensatz zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und ist bewusst nicht Teil des Maßnahmenkataloges für die Siedlungsgebiete (siehe Tabelle 1). Der Steckbrief dient lediglich dazu, das Prinzip der Ableitung nach dem gleichen Muster wie die Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung zu charakterisieren, damit ein direkter Vergleich möglich ist.

In den Maßnahmensteckbriefen wurde qualitativ herausgestellt, welchen Nutzen die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung für den Hochwasserschutz hat und welche Synergieeffekte sich hierbei ergeben.

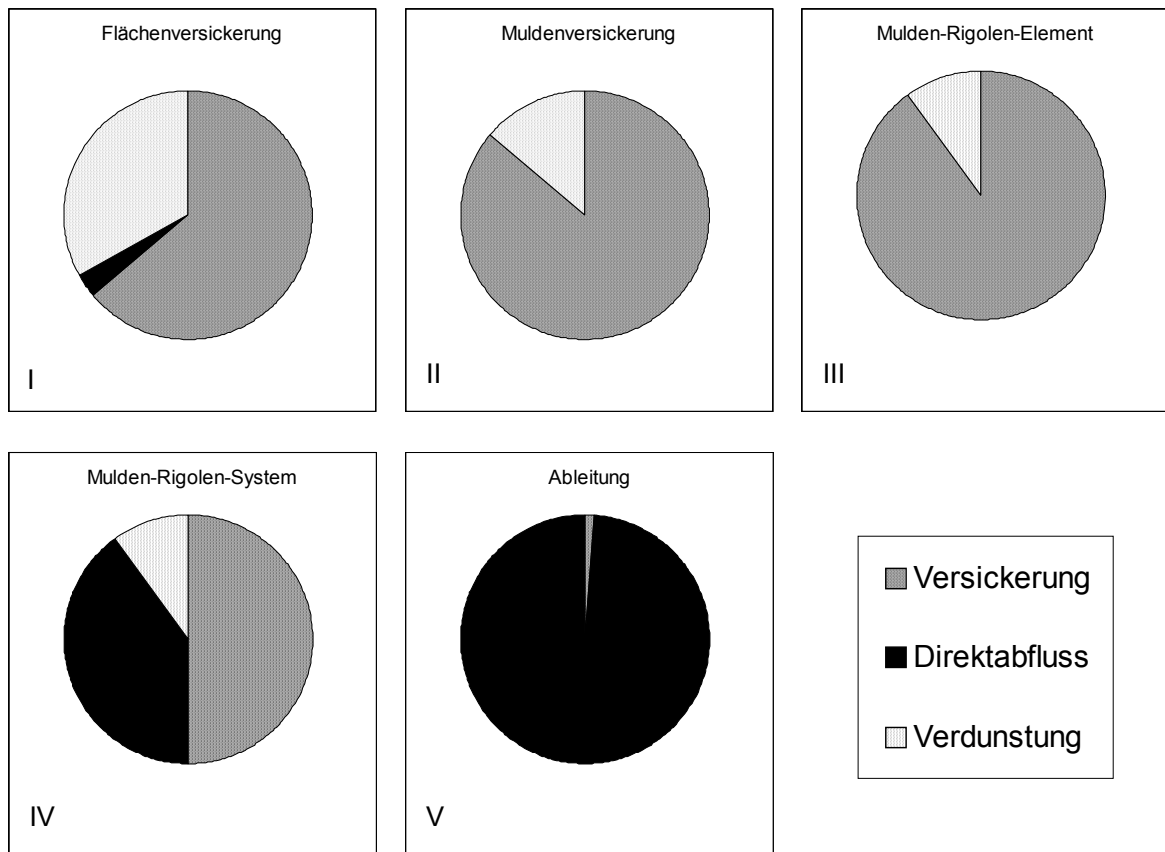


Abbildung 22: Beispielhafte Jahreswasserbilanzen für verschiedene Regenwasserbewirtschaftungssysteme (100 % entspricht dem Zulauf zum System – effektiver Niederschlag)

In Abbildung 22 sind die beispielhaften Jahreswasserbilanzen aus den Maßnahmensteckbriefen grafisch dargestellt. Die Jahreswasserbilanz ist aus naturschutzfachlicher und klimatischer Sicht sowie als Planungskriterium von großer Bedeutung (SIEKER et al., 2006a). Es können aber nur bedingt Aussagen zur Wirkung der Maßnahmen während hochwassererzeugender Niederschlagsperioden aus der Jahresbilanz getroffen werden. Deshalb wurden einzelne Starkregenereignisse der Vergangenheit ausgewählt und das Verhalten standortangepasst dimensionierter Mulden-Rigolen-Elemente mit dem Modell STORM simuliert (siehe Kapitel 6.4). In Tabelle 2 sind die Berechnungsergebnisse dargestellt. Die Bilanzen bilden in der Summe den effektiven Niederschlag, d. h. es handelt sich um die Abflüsse von den versiegelten und unversiegelten Flächen in denen die Benetzung- und Verdunstungsverluste nicht mehr enthalten sind. So ist zu erklären, warum die Maßnahme „Ableitung“ keine Verdunstung in der Bilanz ausweist.

Die „konventionelle Ableitung“ oder die „Ableitung ins Gewässer“ ändern ihr Abflussverhalten während eines Hochwassers im Vergleich zur Jahreswasserbilanz nicht. Systembedingt fließen aus diesen Entwässerungsanlagen nahezu 100 % des effektiven Niederschlages ab und tragen zum Hochwasser bei (Bilanz V in Abbildung 22). Dagegen können in den Mulden-Rigolen-Elementen je

nach Starkregenereignis zwischen 30 % und 100 % des effektiven Niederschlags gespeichert werden und vor Ort in den Boden infiltrieren (siehe Tabelle 2).

Die Verdunstung aus den Mulden wurde in Anbetracht der kurzen Berechnungszeiträume nicht mit in die Bilanz aufgenommen. Eingehende Erläuterungen zu den hier untersuchten Mulden-Rigolen-Elementen und den ausgewählten Starkniederschlägen sind in Kapitel 6.4 zu finden.

Tabelle 2: Wasserbilanz von Mulden-Rigolen-Elementen bei unterschiedlichen Starkregenereignissen (bezogen auf den effektiven Niederschlag)

Hochwasser-Zeitraum	Station Fichtelberg		Station Chemnitz		Station Leipzig	
	Versickerung	Direktabfluss	Versickerung	Direktabfluss	Versickerung	Direktabfluss
10.8.-14.8.2002	30%	67%	85%	11%	100%	0%
25.8.-5.9.1995	91%	9%	99%	1%	100%	0%
7.8.-12.8.1978	91%	9%	100%	0%	100%	0%
30.8.-13.9.1990	100%	0%	100%	0%	100%	0%

Eine ökonomische Bewertung der dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen im Vergleich zur konventionellen Ableitung kann ansatzweise anhand der in den Maßnahmensteckbriefen genannten Erstellungs- und Betriebskosten vorgenommen werden. Bei der Gegenüberstellung der Erstellungskosten fällt auf, dass die Erschließung bisher un bebauter Flächen mit konventionellen Regenwasserkanälen relativ kostengünstig ist (7,5 €/m² angeschlossener Fläche). Dagegen ist für die Sanierung von Regenwasserkanälen in Bestandsgebieten ein Vielfaches der Erstellungskosten anzusetzen (60 €/m² angeschlossener Fläche). Die Erstellungskosten für dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen variieren je nach Standortbedingungen und Flächenverfügbarkeit zwischen 5 €/m² und 35 €/m² angeschlossener Fläche. Im Mittel muss bei der Erstellung von Mulden-Rigolen-Elementen von 10 €/m² angeschlossener Flächen ausgegangen werden. Der ökonomische Vorteil dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen ergibt sich im Zuge der Sanierung, weil hierbei die gleichen Kosten wie für die Neuerstellung angesetzt werden können.

Der Vergleich der Betriebskosten unterstreicht die ökonomische Nachhaltigkeit der dezentralen Bewirtschaftung. Für die Unterhaltung konventioneller Regenwasserkanäle werden in der Literatur jährliche Kosten von 0,18 €/m² angeschlossener Fläche genannt. Die Wartungskosten dezentraler Anlagen belaufen sich dagegen auf 0,05 – 0,075 €/m² angeschlossener Fläche.

Für eine vertiefende ökologische und ökonomische Vergleichsbetrachtung zwischen dem Konzept der konventionellen Regenwasserentsorgung und dem Konzept der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung sei auf jüngste Veröffentlichungen verwiesen, die im Rahmen eines UBA – Forschungsprojektes unter der Leitung von Herrn Prof. F. Sieker erarbeitet wurden (SIEKER et al.; 2006a, SIEKER et al.; 2006b, SCHLOTTMANN et al.; 2007). Diese Untersuchungen und Ergebnisse werden der Komplexität einer objektiven Kosten-Nutzen-Analyse unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer und unter Einbeziehung nicht-monetärer Aspekte gerecht.

Die im Rahmen dieses Projektes vorgeschlagenen siedlungswasserwirtschaftlichen Maßnahmen stellen aus hydrologischer und ökonomischer Sicht eine Alternative zur strikten Ableitung des anfallenden Oberflächenwassers auf versiegelten und unversiegelten Siedlungsflächen dar. Um die genannten negativen Auswirkungen der Regenwasserableitung, z. B. die Hochwasserverschärfung, zu vermeiden, ist es wichtig, diese Maßnahmen auf möglichst allen Siedlungsflächen anzuwenden, die in Zukunft entstehen.

Mit Blick auf die Verbesserung des momentanen vorbeugenden Hochwasserschutzes muss das Ziel sein, das Konzept der Regenwasserbewirtschaftung (Versickerung, Rückhaltung und ggf. gedrosselte Ableitung) auch in bestehenden Siedlungsgebieten umzusetzen, die im Ist-Zustand an die Misch- bzw. Trennkanalisation angeschlossen sind.

Auch wenn in den letzten Jahren im Bereich der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung beachtliche Fortschritte gemacht wurden, ist darauf hinzuweisen, dass für die Umsetzung derartiger Konzepte ein Umdenken in den Kommunen, bei den Behörden, bei den Planern sowie bei den Bürgern weiter um sich greifen muss. Die Maßnahmensteckbriefe sowie die darauf aufbauenden Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens sollen einen Beitrag zu diesem Paradigmenwechsel liefern.

4.2 Maßnahmenkatalog für landwirtschaftliche Flächen

4.2.1 Auswahl der Maßnahmen

Im Muldeeeinzugsgebiet werden ca. 60 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt (44 % Ackerland, 17 % landwirtschaftliches Grünland). Besonders im fruchtbaren Lösshügelland prägen große Ackerschläge die Agrarlandschaft, die im Rahmen der Kollektivierung der Landwirtschaft zu DDR-Zeiten zur Sicherung der Nahrungsmittelversorgung und zur Rationalisierung des Maschineneinsatzes über zahlreiche Flurbereinigungen entstanden sind. Aus der Sicht der Landwirtschaft bieten diese großen Bewirtschaftungseinheiten zahlreiche Vorteile. Die Bewirtschaftung der Flächen kann sehr effizient, d. h. zeit- und kostensparend erfolgen, indem z. B. Maschinen mit großen Arbeitsbreiten eingesetzt werden können. Ehemals flurgliedernde Elemente wie Streuobstwiesen, Halbtrockenrasen, Feldraine oder Gräben wurden vielerorts beseitigt oder fragmentiert, um die vorwiegend nach agrarökonomischen Aspekten ausgerichtete Neustrukturierung der Landschaft zu ermöglichen. Besonders in den landwirtschaftlichen Gunstregionen müssen viele Agrarlandschaften deshalb noch heute als „ausgeräumt“¹ bezeichnet werden. Im Rahmen der Kollektivierung der Landwirtschaft und der sogenannten Komplexmelioration entstanden überwiegend großflächig bewirtschaftete und nur noch gering mit Strukturelementen durchsetzte Agrarlandschaften, in denen eine Überdimensionierung der Ackerschläge von 200 ha bis zu 400 ha zu DDR-Zeiten keine

¹ Gemäß der Definition des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU 1985) ist von einer Ausräumung der Agrarlandschaft dann zu sprechen, wenn die zusammenhängende intensiv pflanzenbaulich genutzte Flächen ohne jede Unterbrechung durch Saumstrukturen mindestens 25 ha einnimmt.

Seltenheit darstellte (vgl. KRETSCHMER et al., 1995; STERN, 1990). Diese Agrarraumstruktur ist aufgrund ihrer wirtschaftlichen Vorteile in vielen Regionen erhalten geblieben und spiegelt sich noch heute in den Schlaggrößen und in der Fluraufteilung der Landschaft wider – so auch in weiten Teilen des Muldeinzugsgebietes.

Angesichts der besonderen Flächenwirksamkeit nimmt die Landwirtschaft die natürlichen Ressourcen stark in Anspruch und kann die Umwelt in vielfältiger Weise belasten. Mit 70 % bis 90 % trägt sie wesentlich zur Entstehung von Oberflächenabfluss in der Landschaft bei (AUERSWALD, 2002). Diese Tatsache und weitere Probleme bezüglich der abiotischen und biotischen Systemkomponenten der Agrarökosysteme wurden anhand von Beispielen wiederholt dargestellt und analysiert (z. B. BENTON et al., 2003; HEHL-LANGE, 2001; HILBERT und ILLIG, 1994; KNICKEL et al., 2001; KORNECK und SUKOPP, 1988; KRÖNERT, 1996; PRETTY et al., 2002; ROTH et al., 1996; STEIDL und RINGLER, 1997b).

Die negativen Umweltwirkungen der intensiven Landwirtschaft lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Beeinträchtigung der natürlichen Bodenfunktionen (z. B. Erosion, Verdichtung, Verlust an Bodenfruchtbarkeit, erhöhter Oberflächenabfluss);
- Belastung der Ökosysteme, insbesondere von Grund- und Oberflächengewässern (Kontamination durch Sedimente, Pestizide, Nitrat- und Phosphateinträge);
- Erzeugung klimarelevanter Gase (Methan, Lachgas, Ammoniak);
- Reduzierung der Biodiversität der Agrarökosysteme (z. B. Rückgang von typischen Pflanzen und Tierarten der Feldflur, Ausräumung der Landschaft).

Ausgehend von diesen grundlegenden Umweltproblemen in Agrarlandschaften wurden Maßnahmen zusammengestellt, die sowohl aus der Sicht des vorbeugenden Hochwasserschutzes als auch vor dem Hintergrund anderer Naturschutzziele Vorteile bieten (z. B. Erosionsschutz, Gewässerschutz, Arten- und Biotopschutz). Diese Maßnahmen stellen eine Auswahl aus dem Spektrum der Möglichkeiten dar, welches als besonders effektiv eingestuft wird. Sie bilden die Grundlage für die integrierte Hochwasserschutzkonzeption in den agrarisch geprägten Bereichen des Muldeinzugsgebietes und werden entsprechend im Expertensystem FLEXT berücksichtigt (Kapitel 5.3).

Der Maßnahmenkatalog umfasst insgesamt 15 Maßnahmen, die den Obergruppen „Bodenbearbeitung und Bestellverfahren (A)“, „Nutzungsänderung (B)“ und „Flurgestaltung (C)“ zugeordnet werden können (Tabelle 3). Sämtliche Maßnahmen sind in der Praxis situations- und standortbezogen zu ergreifen. Hierbei sollte stets das gesamte Spektrum der möglichen Maßnahmen zum Einsatz gebracht werden, um das Wasserrückhaltepotenzial und soweit möglich weitere Naturraumpotenziale zu erschließen.

Tabelle 3: Maßnahmen der Bodenbearbeitung und Bestellverfahren

A	Maßnahmen der Bodenbearbeitung und Bestellverfahren
A1	Konservierende Bodenbearbeitung
A2	Direktsaatverfahren
A3	Konturnutzung
B	Maßnahmen der Nutzungsänderung
B1	Aufforstung
B2	Umwandlung von Acker in Grünland
B3	Flächenstilllegung
C	Maßnahmen der Flurgestaltung
C1	Schlagverkleinerung
C2	Schlaguntergliederung durch Grünstreifen
C3	Schlaguntergliederung durch Gras-/Krautstreifen
C4	Anlage von Gras-/Krautsäumen
C5	Anlage von Gewässerrandstreifen
C6	Schlaguntergliederung durch Hecken
C7	Anlage von Feldgehölzen
C8	Begrünung von Abflussbahnen
C9	Anlage von Abflusmulden

4.2.2 Maßnahmensteckbriefe für landwirtschaftliche Flächen

Um eine gezielte Ausnutzung der sich bietenden Synergieeffekte zwischen Hochwasserschutz und Naturschutz zu ermöglichen, wurden Steckbriefe mit funktionsspezifischen Hinweisen zur Planung und Umsetzung für die Maßnahmen erarbeitet. Die Konzeption dieser Maßnahmensteckbriefe erfolgte aufbauend auf der Maßnahmencharakterisierung, wie sie im DBU-Projekt „WSM300 - Verbesserte Ansätze für Wasser- und Stoffstrommanagement in intensiv genutzten kleinen Einzugsgebieten auf der Grundlage von integrierten Nutzen- und Risikobewertungen“ (THIEL und SCHMIDT, 2005, siehe www.wsm300.de) durchgeführt wurde.

Die äußere Form und die inhaltliche Gliederung der Steckbriefe wurden so gewählt, dass alle Maßnahmen des Maßnahmenkatalogs prägnant und nach einheitlichem Muster beschrieben werden können. In Abbildung 23 ist das zu Grunde liegende Prinzip dargestellt.

Foto	Planzeichen	Titel der Maßnahme
	Kurzbeschreibung	
Bevorzugte Einsatzgebiete		
Vorranggebiete zur Maßnahmenumsetzung		
Wirkungen der Maßnahme		
Hochwasserschutz (hydrologisch-hydraulische Wirksamkeit, Abflussreduzierung und –verzögerung)		
Naturschutz (Arten und Biotope, Boden, Wasser, Klima, Luft, Landschaftsbild)		
Vor- und Nachteile aus Sicht der Landbewirtschaftung (z. B. Nutzflächenverlust, Förderung von Nützlingen/Schädlingen, jagdliche Nutzbarkeit, Ertragsveränderungen)		
Hinweise zur Umsetzung		
Errichtung (z. B. bevorzugter Zeitpunkt für die Maßnahmenumsetzung, Materialanforderungen, Gestaltungshinweise, erforderliche Sicherungsmaßnahmen)		
Unterhaltung und Bewirtschaftung (z. B. Pflege- und Entwicklungsziele, erforderliche Managementqualitäten, angestrebte Nutzungsintensität)		
Ausschlusskriterien (z. B. ungeeignete Standortverhältnisse, naturschutzinterne Zielkonflikte)		
Alternativmaßnahmen / Maßnahmenkombinationen		
Zeitbedarf (Maßnahmenumsetzung, Funktionserfüllung)		
Akteure und Planungsinstrumente zur Maßnahmenumsetzung		
Ökonomische Aspekte		
Erstellungs-, Betriebs- und Folgekosten		
Fördermöglichkeiten in Sachsen		
Weitere Informationen und Arbeitshilfen		
Weiterführende Literatur, Internetseiten		

Abbildung 23: Aufbau und Inhalte der Maßnahmensteckbriefe (Prinzip)

Die kompletten Steckbriefe zu den 15 untersuchten Maßnahmen befinden sich im Anhang zu dieser Arbeit und können über das Internet unter www.hochwasserschutz-mulde.de eingesehen werden.

Die Steckbriefe stellen eine zusammenfassende Maßnahmenbewertung durch die einzelnen Fachdisziplinen dar. Hiermit kann ein übersichtlicher Informationspool zu hydrologischen, naturschutzfachlichen, landwirtschaftlichen und ökonomischen Aspekten sowie Pflege- und Entwicklungszielen bereitgestellt werden. Im Vordergrund stehen jeweils die Auswirkungen auf den Hochwasserschutz sowie die Biotopqualität und soweit relevant; den Schutz auf die abiotischen Schutzgüter Klima, Wasser und Boden sowie das Landschaftsbild. Zusätzlich enthalten die Maßnahmensteckbriefe Informationen über betriebswirtschaftliche Aspekte, Fördermöglichkeiten sowie Kriterien, die zum Ausschluss einer Maßnahmenumsetzung führen können. Die Steckbriefe können dabei nur einen Grundstock der wichtigsten Informationen vermitteln und ersetzen keinesfalls detaillierte Planungen vor Ort. Für weitergehende Hinweise zur Pflege und Entwicklung wird auf weiterführende Literatur verwiesen.

Mit den Maßnahmensteckbriefen wird den Akteuren von Naturschutz, Wasserwirtschaft und Landnutzung eine Entscheidungsgrundlage zur Verfügung gestellt, die es ermöglicht, ohne aufwendige Datenbeschaffung und Auswertung eine Vorauswahl von Maßnahmen zu treffen, die gleichermaßen den Zielvorstellungen des vorbeugenden Hochwasserschutzes und des Naturschutzes entsprechen. Die Steckbriefe richten sich an örtliche und überörtliche Planungsstellen, welche Flächennutzungen festlegen und zwischen Alternativen abwägen müssen, z. B. Agrarplanung, Landschaftsplanung, Bauleitplanung, Zweckverbände, Wasser- und Bodenverbände, Landwirte und Grundeigentümer. Für diese Zielgruppen wird aufgezeigt, wie die Maßnahmen praktisch umgesetzt werden können und welche ökonomischen Vor- oder Nachteile existieren.

4.2.3 Diskussion

4.2.3.1 Hydrologisch-hydraulische Bewertung der Maßnahmen

Der Maßnahmenkatalog für die Landwirtschaft umfasst grundsätzlich nur Maßnahmen, die einen positiven Einfluss auf das Hochwassergeschehen haben. Im Weiteren haben sie gemein, dass sie mehr oder weniger weit vom Gewässersystem umgesetzt werden. Die positiven Auswirkungen auf den Hochwasserschutz resultieren aus der Beeinflussung der Abflussbildungs- und Abflusskonzentrationsprozesse vor dem Zufluss ins Gewässer. Die konventionelle Form des vorbeugenden Hochwasserschutzes konzentriert sich dagegen auf die Prozesse des Abflusstransports. Durch die Überflutung von Auenflächen, die Nutzung von Speicherbauwerken und/oder Gerinnequerschnitts- bzw. Gerinnelängsschnittsmodifikationen sollen die ablaufenden Hochwasserwellen retentiert werden. In den Maßnahmensteckbriefen werden bestimmten Maßnahmen ebenfalls Retentionswirkungen zugesprochen, die sich jedoch nicht auf die Welle im Gewässer, sondern auf die Fließprozesse auf der Oberfläche beziehen. Die Wirkung der hier diskutierten Maßnahmen kann in drei Klassen eingeteilt werden.

Die erste Klasse von Maßnahmen erzielt ihre positive hydrologische Wirkung durch die Förderung der Infiltration. Hierzu zählen die konservierende Bodenbearbeitung, die Direktsaatverfahren, die Maßnahmen der Nutzungsänderung (Gruppe B in Tabelle 3) oder die Anlage von Feldgehölzen. Im

Idealfall kommt es bei Anwendung dieser Maßnahmen zu keiner Überschreitung des Infiltrationsvermögens und damit auch nicht zur Bildung von Oberflächenabfluss. Zumindest führen die Maßnahmen dazu, dass das Einsetzen des Oberflächenabflusses später eintritt.

Die potenzielle Infiltration eines Bodens ist maßgeblich durch seine Bodenart (Korngrößenverteilung) bestimmt (vgl. Kapitel 3.2). Ausgehend von dieser natürlichen Randbedingung gibt es jedoch Prozesse, die die Infiltrationsfähigkeit der Böden verbessern oder auch drastisch verschlechtern können. Die Verschlammung der Böden, die Verdichtung der Oberkrume, die Ausbildung von Verdichtungshorizonten (Pflugsohlenverdichtung) oder ein fehlendes Porensystem fördern die Bildung von Oberflächenabfluss, der aufgrund seiner geringen Retention maßgeblich für die Entstehung von Hochwasserabflüssen verantwortlich ist.

Die genannten Maßnahmen wirken diesen infiltrationshemmenden Einflüssen entgegen. Zusätzlich fördern sie den schnellen Transport des Wassers in tiefere Bodenschichten. Dies geschieht durch die Ausbildung von vertikalen Fließwegen im Boden (Makroporen). Die Makroporeninfiltration setzt ein, wenn die Niederschlagsintensität die aktuelle Infiltrationskapazität überschreitet.

Die zweite Klasse von Maßnahmen zielt darauf ab, den sogenannten Muldenspeicher an der Oberfläche zu vergrößern und damit ein temporäres Überschreiten der Niederschlagsintensität über die Infiltrationsrate ganz oder teilweise zu kompensieren. Bei der Konturnutzung wird im Rahmen der Bodenbearbeitung ein Mikrorelief (viele kleine Mulden) geschaffen, in denen bei exakt höhenlinienparalleler Ausbildung eine solche Zwischenspeicherung gelingen kann.

Die dritte Klasse von Maßnahmen trägt positiv zum Hochwasserschutz bei, indem sie bereits entstandenen Oberflächenabfluss auffängt oder zumindest verzögert. Bei einigen Maßnahmen bietet diese Retention zusätzlich die Möglichkeit, dass es (räumlich versetzt) doch noch zur Infiltration des Niederschlages kommt und der direkte Abfluss ins Gewässer vermieden werden kann. Zu dieser Klasse gehören mit Ausnahmen der Anlage von Feldgehölzen alle Maßnahmen der Flurgestaltung (Gruppe C in Tabelle 3).

Von besonderer Bedeutung in dieser Gruppe sind aus hydrologischer Sicht die Maßnahmen, die in der Lage sind, den erfassten Oberflächenabfluss ganz oder teilweise zwischenspeichern. Die Zwischenspeicherung in oberirdischen Mulden erhöht die Verweilzeit des Wassers und damit das Infiltrationsvolumen. Hierzu gehören die Anlage von Abflussmulden und die Schlaguntergliederung durch Hecken.

Insbesondere bei der Anlage von Gewässerrandstreifen muss einschränkend festgehalten werden, dass die Infiltration von Oberflächenabfluss hier nur eine unbedeutende Retentionswirkung darstellt, da von einem direkten hydraulischen Kontakt zum Gewässer auszugehen ist.

Generell muss betont werden, dass der hier und in den Maßnahmensteckbriefen genannte positive Einfluss auf Hochwasserereignisse aufgrund erhöhter Infiltration nur dann zutrifft, wenn die Maßnahmen auf geeigneten Standorten mit ausreichend Wasserrückhaltepotenzial umgesetzt werden (siehe Kapitel 3.4). Auf Standorten, die zu schnellen unterirdischen Fließvorgängen in Richtung Gewässer tendieren, lässt sich nur durch Maßnahmen mit oberirdischer Speicherung eine hochwassermindernde Wirkung erreichen. Alle anderen Maßnahmen mögen auf solchen Flächen natürlich aus naturschutzfachlichen oder landwirtschaftlichen Aspekten sinnvoll und notwendig sein. In diesen Fällen kann der vorbeugende Hochwasserschutz als Umsetzungsargument jedoch nicht dienen.

Für die Bewertung aus hydrologisch-hydraulischer Sicht wurden folgende Zielgrößen definiert:

- Wasserbilanz eines extremen Hochwasserereignisses (HQ 100)
- Wasserbilanz eines mittleren Hochwasserereignisses (HQ 20)
- Wasserbilanz eines häufigen Hochwasserereignisses (HQ 1)
- Langjährige mittlere Jahreswasserbilanz
- Mittlere Abflussreduktion eines extremen Hochwasserereignisses (HQ 100), bezogen auf das direkte Einzugsgebiet
- Mittlere Abflussreduktion eines extremen Hochwasserereignisses (HQ 100), bezogen auf den Mündungspegel des Einzugsgebietes.

Die Zielerfüllungsgrade der einzelnen Maßnahmen in Bezug auf die oben genannten Zielgrößen lassen sich durch Modellberechnungen ermitteln. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde sich hierbei insbesondere auf die konservierende Bodenbearbeitung konzentriert (siehe Kapitel 6.5). Bezogen auf alle anderen in den Steckbriefen charakterisierten Maßnahmen beschränken sich die Aussagen auf die der Literatur entnommenen Angaben (siehe Tabelle 4).

4.2.3.2 Naturschutzfachliche Bewertung der Maßnahmen

4.2.3.2.1 Synergieeffekte zwischen Hochwasserschutz und Naturschutz

Während unter dem alleinigen Gesichtspunkt des vorbeugenden Hochwasserschutzes die Forderung nach einer möglichst umfangreichen Umsetzung der hydrologisch wirksamsten Maßnahmen am sinnvollsten erscheinen mag, müssen in integrativen Landnutzungskonzepten die Synergieeffekte von Maßnahmen im Mittelpunkt stehen. Das Ziel der Bewertung bestand deshalb darin, die Bedeutung der einzelnen Maßnahmen für verschiedene Ziele des Naturschutzes aufzuzeigen und somit Grundlagen zur Wiederherstellung der Mehrfachfunktionen und der Mehrfachnutzung der Agrarlandschaft zu erarbeiten.

Durch wasserrückhaltende Maßnahmen werden die Funktions- und Stoffkreisläufe in den Einzugsgebieten in vielerlei Hinsicht beeinflusst. Ausgehend von dem Ziel des vorbeugenden Hochwasserschutzes können viele der o.g. Maßnahmen so auch in Bezug auf andere naturschutzfachlich relevante Zielsetzungen, wie z. B. Erosionsschutz, Gewässerschutz oder Arten- und Biotopschutz, Vorteile bieten (z. B. GÄNSRICH UND WOLLENWEBER, 1995; RIEDL, 2001; RÜTER, 2005; RÜTER et al.,

2006; RÜTER UND REICH, 2007). Die mögliche Erfüllung der Ziele hängt von den verfügbaren Naturraumpotenzialen und Landschaftsfunktionen ab. Unter Naturraumpotenzial (bzw. dem Potenzial der Landschaft) kann nach v. HAAREN UND HORLITZ (1993) das in einem stofflichen System enthaltene standortabhängige Vermögen zur Bereitstellung von für den Menschen bedeutsamen Leistungen oder Funktionen verstanden werden, welches durch bestimmte Maßnahmen ausgelöst werden kann (vgl. KRÖNERT, 1996). Der Begriff Landschaftsfunktion umfasst die derzeitige und potenzielle Leistungsfähigkeit der Landschaft zur nachhaltigen Erfüllung menschlicher Ansprüche an den Naturhaushalt und das Landschaftserleben (v. HAAREN, 2004). Potenzial- und Funktionsansatz stellen den Versuch dar, die Komplexität der räumlichen Umwelt für die Landschaftsplanung und den Naturschutz so zu operationalisieren, dass die aus der Sicht des Menschen wesentlichen Eigenschaften - die letztlich die Grundlage jeder planerischen Bewertung und Entscheidung darstellen - herausgearbeitet werden (v. HAAREN UND HORLITZ, 1993). Besonders der Funktionsbegriff wird in verschiedenen umweltrelevanten Gesetzen an zentraler Stelle verwendet (z. B. ROG, BBodSchG, BNatSchG) und hat sich gegenüber dem Potenzialbegriff zunehmend durchgesetzt. Mit der Betrachtung von Landschaftsfunktionen wird deutlich, dass es nicht nur um den sektoralen Schutz einzelner Naturgüter, sondern um eine medienübergreifende Betrachtung von Natur und Landschaft geht (v. HAAREN, 2004).



Abbildung 24: Beziehungen zwischen der Retentionsfunktion und anderen Landschaftsfunktionen (verändert nach RÜTER UND REICH, 2007)

Aus der Sicht des Hochwasserschutzes steht die Retentionsfunktion im Mittelpunkt des Interesses. Der Begriff Retention umfasst die Verringerung, Hemmung und Verzögerung des Abflussprozesses in den Fließgewässern, ihren Auen (Gewässerretention) sowie den Einzugsgebieten der Fließgewässer (Gebietsretention). Die Retentionsfunktion beschreibt demnach das Vermögen der Landschaft zur Retention beizutragen (GÄNSRICH UND WOLLENWEBER, 1995; SANDER, 2004a).

Maßnahmen zur Verbesserung der Retentionsfunktion (hier Gebietsretention) können insbesondere Einfluss auf die natürliche Ertragsfunktion, die Biotopfunktion, die Grundwasserdargebotsfunktion, die bioklimatische Ausgleichsfunktion sowie die Landschaftserlebnis- und Erholungsfunktion entfalten (Landschaftsfunktionen nach v. HAAREN, 2004) (Abbildung 24). Diese Beziehungen sollen hier in kurzer Form dargestellt werden (siehe auch GÄNSRICH UND WOLLENWEBER, 1995):

Natürliche Ertragsfunktion

Die natürliche, d. h. standortbedingte Ertragsfunktion kennzeichnet nach v. HAAREN (2004) das Vermögen des Standorts (Boden, Wasserhaushalt, Klima) zur Produktion von Nutzpflanzen, i.d.S. also die natürliche Bodenfruchtbarkeit ohne menschliche Verbesserungsmöglichkeiten (z. B. Beregnung, Dünge- und Pflanzenschutzmittel) oder die derzeitigen Erträge. Es bestehen grundsätzliche Zusammenhänge zwischen abfließendem Wasser (als Grund- und Oberflächenwasser) und Stoffflüssen in und aus Landschaften (RIPL, 1995). Das Auftreten von Oberflächenabfluss ist somit direkt mit dem Auftreten von Wassererosion gekoppelt, welche Bodenverluste aus den Flächen verursachen und durch abgeschwemmte Nähr- und Schadstoffe zu Gewässerbelastungen führen kann (z. B. STEIN et al., 1986; WOHLRAB et al., 1992). Weil ein höheres Retentionsvermögen eine Erhöhung der Infiltration sowie eine Verringerung von Oberflächenabfluss zur Folge hat, wird damit auch das Auftreten von Wassererosion verhindert bzw. begrenzt, was zur Sicherung der natürlichen Ertragsfunktion beiträgt. Des Weiteren können wasserrückhaltende Maßnahmen in der Agrarlandschaft Bodenverdichtungen entgegenwirken, was sich unmittelbar auf die natürliche Ertragsfunktion auswirkt.

Biotopfunktion

Der Begriff Biotopfunktion beschreibt die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts als Lebensraum für Pflanzen und Tiere sowie deren Vorkommen und Verbreitung (KIRSCH-STRACKE und REICH, 2004). Maßnahmen zur Verbesserung des Retentionsvermögens wie die Anlage von Hecken, Schlaguntergliederung durch Grünstreifen oder die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitungsverfahren erhöhen das Lebensraumangebot und oftmals auch die Lebensraumqualität in Agrarlandschaften und wirken sich damit unmittelbar auf die Biotopfunktion aus (z. B. RÜTER UND REICH, 2007; KREUTER UND NITZSCHE, 2005). Darüber hinaus bewirkt die Reduzierung von Oberflächenabfluss eine Verringerung von Stoffeinträgen in angrenzende Biotope und hat damit direkte Auswirkungen auf den Bestand und die Entwicklung der dort vorkommenden Arten und Lebensgemeinschaften (z. B. limnische Ökosysteme).

Grundwasserdargebotsfunktion

In einem Einzugsgebiet kommt es zur Überlagerung einer Vielzahl von Abflussbildungsprozessen. Diese sind zeitlich und räumlich variabel, d. h. an einem Ort können in Abhängigkeit von Systemzuständen, Wechselwirkungen mit umgebenden Gebieten und der Niederschlagscharakteristik verschiedene Abflussbildungsprozesse stattfinden (UHLENBROOK, 1999). Das Grundwasserdargebot bezeichnet die Summe aller positiven Wasserbilanzglieder (SANDER, 2004c). Wasserrückhaltungen

in der Fläche zielen auf einen möglichst langen Verbleib des Niederschlagswassers im Bodenkörper und somit auf die Erhaltung und die Verbesserung des Gebietswasserhaushaltes ab (vgl. HACH und HÖLTL, 1989). Die Infiltration von Niederschlagswasser ist wesentliche Einflussgröße der Grundwasserneubildung, die wiederum eine der wichtigsten Größen der Grundwasserdargebotsfunktion darstellt. Darüber hinaus sorgt ein längerer Verbleib des Wassers im Untergrund für eine bessere Reinigung, wodurch die Grundwasserdargebotsfunktion direkt beeinflusst wird.

Bioklimatische Ausgleichsfunktion

Die bioklimatische Ausgleichsfunktion beschreibt den durch thermisch oder orographisch induzierte Ausgleichsströmung bedingten Luftaustausch zwischen vegetationsgeprägten Flächen und angrenzenden Siedlungsräumen während strahlungsreicher, windschwacher Hochdruckwetterlagen (MAKALA und MAKALA, 2004). Voraussetzung für die Ausbildung von luftaustauschsteuernden thermischen Unterschieden sind strahlungsklimatisch wirksame Umsatzflächen, auf denen in Folge einer geringeren Wärmeleitfähigkeit sowie einer erhöhten Evapotranspiration gegenüber dem bebauten Umland kühlere Luftmassen entstehen (insbesondere landwirtschaftlich genutzte Offenlandflächen). Wird die Versickerung des Niederschlags in den Boden gefördert, wird er dort gespeichert und steht einer erhöhten Evapotranspiration zur Verfügung. Die mit der Retention einhergehende Gebietsverdunstung übt somit Einfluss auf die bioklimatische Ausgleichsfunktion der Landschaft aus und hat ausgleichende Wirkung auf das Mesoklima.

Landschaftserlebnis und Erholungsfunktion

Maßnahmen zur Förderung der Retention von landwirtschaftlichen Flächen haben unmittelbaren Einfluss auf das Landschaftsbild. Insbesondere in intensiv genutzten Agrarlandschaften können sich retentionsfördernde Maßnahmen wie z. B. Hecken oder Feldraine auswirken, indem die Vielfalt, Eigenart und Schönheit und somit der Erlebnis- und Erholungswert der Landschaft positiv beeinflusst werden. Durch die Reduzierung von oberflächenabflussbedingten Erosionserscheinungen auf Ackerflächen werden zudem wahrnehmbare Beeinträchtigungen in der Landschaft reduziert, was den Erholungswert der Landschaft erhöht.

4.2.3.2.2 Maßnahmenbewertung

Eine naturschutzfachliche Bewertung des Maßnahmenkatalogs sollte vor dem Hintergrund der in Kapitel 4.2 dargestellten Umweltproblematik von Agrarlandschaften zu allen o.g. Landschaftsfunktionen Aussagen treffen. Im Vordergrund der auf einer umfassenden Literaturrecherche und eigenen Modelluntersuchungen basierenden Maßnahmenbewertung standen die Auswirkungen auf den flächenhaften Wasserrückhalt und die Biotopfunktion und - soweit relevant - den Schutz der abiotischen Schutzgüter Klima, Wasser und Boden sowie das Landschaftsbild. Eine abschließende und detaillierte Bewertung der Umweltverträglichkeit kann an dieser Stelle jedoch nicht erfolgen. Eine solche Bewertung würde voraussetzen, dass sämtliche zu erwartende Umweltwirkungen vor dem Hintergrund exakt definierter Zielgrößen durch geeignete, wissenschaftlich belegte Indikatoren im konkreten räumlich- und zeitlich-funktionalen Zusammenhang betrachtet werden. Unter dem Begriff

Umweltwirkungen werden im Folgenden die negativen und positiven Veränderungen verstanden, die vollständig oder teilweise das Ergebnis der Maßnahmen sind. Im Hinblick auf die hier betrachteten potenziellen Auswirkungen wird auf solche Auswirkungen abgestellt, die aufgrund fachwissenschaftlicher Erkenntnisse mit hinreichender Wahrscheinlichkeit erwartet werden können. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass die mit einer Maßnahmenumsetzung verbundenen komplexen ökologischen Ursache-Wirkungsbeziehungen nicht generell gültig sein können. Die Maßnahmen können je nach den vorhandenen Rahmenbedingungen ganz unterschiedliche bis gegensätzliche Wirkungen auf das Ökosystem entfalten. Obwohl sich die dargestellten Ergebnisse in den Grundsätzen nicht ändern werden, kann die Bewertung somit lediglich allgemeine Tendenzen wiedergeben.

In der Tabelle 4 ist das Bewertungsergebnis für ausgewählte Naturschutzziele abgebildet. In der Synopse sämtlicher Maßnahmen lassen sich grundsätzliche Unterschiede in der Wirksamkeit zwischen den Maßnahmen der Bodenbearbeitung und Bestellverfahren, den Maßnahmen der Nutzungsänderung und den Maßnahmen der Flurgestaltung erkennen, die nachfolgend in den Grundzügen dargestellt werden. Konkrete Angaben zum Naturschutzpotenzial und zu erforderlichen Schutz-, Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen einzelner Maßnahmen können den Maßnahmensteckbriefen (Kapitel 4.2) entnommen werden.

Tabelle 4: Im Bereich Landwirtschaft vorgeschlagene Maßnahmen und ihre potenzielle Bedeutung für ausgewählte Naturschutzziele (verändert nach RÜTER UND REICH, 2007)

		Vorbeugender Hochwasser- schutz	Erosionsschutz	Stofflicher Boden- und Ge- wässerschutz	Grundwasserneubildung	Klimaschutz	Biodiversitätsschutz	Arten- und Biotopschutz	Biotopverbund	Landschaftsbild und Erho- lungsfunktion
A	Maßnahmen der Bodenbearbeitung und Bestellverfahren									
A1	Konservierende Bodenbearbeitung	●	●	○/●	●	●	○	○	○	○
A2	Direktsaatverfahren	●	●	○/●	●	●	○	○	○	○
A3	Konturnutzung	○	○	○	○	○	○	○	○	○/○
B	Maßnahmen der Nutzungsänderung									
B1	Aufforstung	●	●	●	○	●	○/●	○/●	○/●	○/●
B2	Umwandlung von Acker in Grünland	○/●	●	●	●	●	○/●	○/●	○/●	○/●
B3	Flächenstilllegung	○/●	●	○	●	●	●	●	●	○/●
C	Maßnahmen der Flurgestaltung									
C1	Schlagverkleinerung	○/○	○/○	○/○	○	○	○	○	○	○
C2	Schlaguntergliederung durch Grünstreifen	○	○	○	○	○	○	○/○	○/○	○
C3	Schlaguntergliederung durch Gras-/Krautstreifen	○	○	○	○	○	●	●	●	●
C4	Anlage von Gras-/Krautsäumen	○	○	○	○	○	●	●	●	●
C5	Anlage von Gewässerrandstreifen	○	○	●	○	○/○	●	●	●	●
C6	Schlaguntergliederung durch Hecken	○	○/●	●	○/○	○	●	●	●	●
C7	Anlage von Feldgehölzen	○/●	○/●	●	○/○	○/○	●	●	●	●
C8	Begrünung von Abflussbahnen	●	●	●	○/○	○	○/○	○/○	○/○	●
C9	Anlage von Abflussmulden	●	○	●	○/○	○	○/○	○/○	○/○	○/○
		<p>● hohe Bedeutung / starke funktionale Vernetzung ○● mittlere Bedeutung / mäßige, zumeist indirekte funktionale Vernetzung ○ geringe Bedeutung / geringe bis keine funktionale Vernetzung</p>								

A) Maßnahmen der Bodenbearbeitung und Bestellverfahren

Wie die Bewertung zeigt, können die Maßnahmen im Bereich der Bodenbearbeitung und Bestellverfahren insbesondere positive Wirkungen auf die abiotischen Schutzgüter Boden und Wasser entfalten. Von besonderer Bedeutung sind hier die Verfahren der konservierenden, d. h. pfluglosen Bodenbearbeitung inkl. der Direktsaat. Angesichts der beträchtlichen umweltökonomischen Probleme der konventionellen Landwirtschaft rücken diese Verfahren in den letzten Jahren zunehmend in den Mittelpunkt des Interesses.

Bei SALZMANN UND RÜTER (2007) wird für ausgesuchte Naturschutzziele dargestellt, welche potenzielle Bedeutung die Art der Bodenbearbeitung für die Zielerreichung im Agrarraum hat und wie der Wirkungsgrad der konservierenden Bodenbearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung zu bewerten ist. Wesentliche Ergebnisse der Literaturstudie werden im Folgenden dargestellt.

Die verminderte Eingriffsintensität der nichtwendenden Bodenbearbeitung führt zu einer Zunahme der organischen Substanz, welche von zentraler Bedeutung für die Struktur, Stabilität, Puffereigenschaften, Retentionsleistung und die biologische Aktivität der Böden ist. Durch eine konservierende Bodenbearbeitung steigt u. a. die Regenwurmdichte und -aktivität an. Gleichzeitig erfolgt eine bessere Durchlüftung des Ober- und Unterbodens und der Humusgehalt des Bodens wird erhöht, was die Bodenfruchtbarkeit verbessert. Durch Makroporen, die durch tiefgrabende Regenwürmer entstehen oder nach dem Absterben von Wurzeln zurückbleiben, kann nach starken Regenfällen das Wasser schneller abgeleitet und infiltriert werden. Durch diese bessere Infiltrationsleistung und durch die schützende Multschicht aus Ernte- und Wurzelrückständen auf der Oberfläche wird der Boden sehr effektiv vor Wassererosion geschützt. Feldversuche in Sachsen haben gezeigt, dass der Bodenverlust im pfluglosen Mulchsaat-Verfahren im Vergleich zu konventionell bewirtschafteten Flächen um mehr als 95 % reduziert werden konnte (s. Tabelle 5 – Ergebnisse aus dem Bodenerosionsmessprogramm der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft und des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, zitiert in SCHMIDT et al., 1999).

Die höhere Tragfähigkeit nichtwendend bearbeiteter Böden verbessert außerdem die Befahrbarkeit des Bodens. Hierdurch wird die Gefahr von Bodenschadverdichtungen und daraus resultierenden Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen tendenziell vermindert (z. B. Infiltrationsvermögen, Durchlüftung, Durchwurzelbarkeit).

Tabelle 5: Vergleichende Darstellung von Bodenverlust, Oberflächenabfluss und Endinfiltrationsrate bei konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung mit Mulchsaat von Zuckerrüben

	Konventionelle Bodenbearbeitung (Pflug und Saatbettbereitung)	Konservierende Bodenbearbeitung (Zinkenrotor und Mulchsaat)
Bodenverlust	82,8 t/ha	0,15 t/ha
Oberflächenabfluss*	835 l	137 l
Endinfiltrationsrate*	12,6 mm/h	32,8 mm/h
Regensimulationsversuch auf einer Hangfläche mit 19 % Hangneigung, Bodenart toniger Schluff, hangabwärts bestellte Zuckerrüben (3-Blatt-Stadium), Beregnungsintensität 40 mm/h, Beregnungsdauer 60 min., Regenmenge 1780 l, Größe der Messparzelle 44 m ²		
* Summenwerte bis Beregnungsende (60. Versuchsminute). Danach abfließendes bzw. versickerndes Wasser ist in den Werten nicht enthalten.		

Obwohl mit der pfluglosen Bodenbearbeitung ein höherer Pflanzenschutzaufwand sowie durch verminderte Stickstoffmineralisation auch eine höhere Stickstoffdüngung verbunden sein kann (z. B. ESTLER und KNITTEL, 1996; SCHULZE, 1999), hat die erosionsvermindernde Wirkung einen erheblich geringeren Transport von an das Sediment gebundenen Nähr- und Schadstoffen (z. B. Nitrat, Phosphat) zur Folge (z. B. FREDE, 2004). Konservierende Bodenbearbeitungssysteme bis hin zur Direktsaat können deshalb den Eintrag von Schadstoffen in angrenzende Flächen und Oberflächengewässer sowie die damit verbundenen Beeinträchtigungen reduzieren. Durch die Pflanzenrückstände auf der Bodenoberfläche und die veränderten Bodeneigenschaften (insbesondere Bodendichte, Porencharakteristik) wird zudem das Wasserrückhaltevermögen der Ackerflächen verbessert (z. B. ZIMMERLING, 2004). Dadurch steht mehr pflanzenverfügbares Wasser für die Landwirtschaft zur Verfügung. Außerdem können konservierend bearbeitete Flächen durch die Reduzierung des Oberflächenabflusses und die Erhöhung der Infiltration einen wichtigen Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz leisten (z. B. ZACHARIAS, 2004; ZIMMERLING et al., 2002). Diese Vielzahl positiver Umweltwirkungen muss - ebenso wie die Senkenfunktion für das klimarelevante CO₂ (z. B. HEINEMEYER, 2004) - aus der Sicht des Naturschutzes grundsätzlich positiv bewertet werden.

Für den Bereich des Arten- und Biotopschutzes und das Landschaftsbild muss die naturschutzfachliche Bedeutung der konservierenden Bodenbearbeitungssysteme dagegen als überwiegend gering eingestuft werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass auch bei bodenschonenden Anbauprinzipien die Hauptursachen der biologischen und ästhetischen Verarmung der Agrarlandschaft bestehen bleiben, die in dem Rückgang von naturnahen Landschaftselementen und der großflächigen Konzentration auf wenige, agrarpolitisch interessante Fruchtarten gesehen werden müssen. Insbesondere die Biotopfunktion wird erheblich beeinträchtigt, indem wertvolle Habitate zahlreicher Tier-

und Pflanzenarten der Feldflur verloren gehen. Die pfluglose Bodenbearbeitung alleine kann diesen Qualitätsverlust nicht kompensieren.

Konservierende Bodenbearbeitungsverfahren können jedoch positive Auswirkungen auf die biologische Vielfalt des Ackers (Schlagebene) haben. Zahlreiche Studien belegen, dass ein mehrjähriger Pflugverzicht zu einer deutlichen Zunahme der mikrobiellen Aktivität sowie zu einer größeren Abundanz und Diversität von Faden- und Regenwürmern im Boden führt (z. B. KREUTER und NITSCHKE, 2005; SEYFARTH et al., 1999). Für den Stamm der Arthropoden (z. B. Spinnen, Laufkäfer) liegen dagegen sehr unterschiedliche Untersuchungsergebnisse vor. Sowohl Zunahmen, Abnahmen als auch gleichbleibende Individuendichten wurden nach der Umstellung von konventioneller auf konservierende Bodenbearbeitung dokumentiert (HOLLAND, 2004). Hieraus muss geschlossen werden, dass das Vorkommen und die Diversität der Bodenfauna i.d.R. von mehr Faktoren bestimmt wird als nur von der Art der Bodenbearbeitung (z. B. Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln, Fruchtfolge, Zeitpunkt der Bewirtschaftung, ackerexterne Rückzugsräume) (vgl. ANDERSEN, 2003; HOLLAND und LUFF, 2000).

Zu anderen Tierartengruppen (z. B. Vögel, Säugetiere) liegen bislang nur sehr wenige Untersuchungsergebnisse vor. KLADIVKO (2001) vermutet jedoch, dass größere Arten i.d.R. anfälliger gegenüber der Bodenbearbeitung sind als kleinere Arten. Es ist davon auszugehen, dass unter den Säugetieren insbesondere die Gruppe der ackertypischen Kleinnager (z. B. Mäuse) von den konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren profitieren können. Ernterückstände an der Bodenoberfläche bieten Schutz, können als Nahrungsquelle dienen und fördern die Bodenfauna, die wiederum als Futter dienen kann. Am Beispiel der Vögel wurde beschrieben, dass pfluglos bewirtschaftete Flächen höhere Individuendichten und eine höhere Artendiversität aufweisen können als gepflügte Flächen (z. B. BEST, 1995; CASTRALE, 1985; VALERA-HERNANDEZ et al.; 1997).

SAUNDERS (2000) dagegen konnte für typische Vogelarten der Agrarlandschaft wie Feldlerche, Goldammer oder Rebhuhn keine Bevorzugung von konservierend bearbeiteten Flächen feststellen. Auch die Vermutung, dass aufgrund der auf der Bodenoberfläche verbleibenden Pflanzenreste potenziell bessere Nistmöglichkeiten für Bodenbrüter bestehen, konnte bisher nicht eindeutig belegt werden. Obwohl verschiedentlich höhere Nestdichten nachgewiesen wurden, war die Reproduktionsrate häufig zu gering für die Aufrechterhaltung stabiler Populationen (HOLLAND, 2004). Die Gründe hierfür lagen sowohl in den unmittelbaren Beeinträchtigungen und Verlusten durch die Bewirtschaftung als auch in dem sehr hohen Druck durch Prädatoren. Best (1986, zit. in HOLLAND, 2004) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die konservierende Bodenbearbeitung unter Umständen sogar eine „ökologische Falle“ für Brutvögel darstellen kann, indem sie die Tiere von geeigneteren, nicht ackerbaulich genutzten Habitaten anzieht.

Es wird deutlich, dass auch konservierend bearbeitete Äcker für die meisten typischen Tier- und Pflanzenarten der Feldflur allenfalls suboptimale Teillebensräume darstellen, die durch ein Netz

aus regionaltypischen Saum- und Kleinbiotopen ergänzt werden müssen. Hinzu kommt, dass pfluglose Verfahren kein geeignetes Instrument zur Förderung von Ackerwildpflanzengesellschaften und der darauf aufbauenden Zönosen darstellen. Die Ursache hierfür ist in den erforderlichen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen zu sehen, durch welche die Ausbildung von ackertypischen Wildpflanzengesellschaften i.d.R. verhindert wird. Eine solche Förderung kann derzeit nur durch extensive Bewirtschaftungsstrategien ohne chemischen Pflanzenschutz sowie durch Stilllegungspraktiken und gezielte Naturschutzmaßnahmen erreicht werden.

Hangparallel bearbeitete Flächen (Maßnahme Konturnutzung) haben einen geringeren Oberflächenabfluss als solche, die in Hangrichtung bearbeitet werden (BAUMGARTNER und LIEBSCHER, 1996) und können daher einen Beitrag zum Hochwasserschutz leisten. Als weitere positive Umweltwirkung ist die Erosionsschutzwirkung zu nennen, die wie die Retentionswirkung besonders dann gegeben ist, wenn die Bewirtschaftung parallel zu den Höhenlinien erfolgt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass alle Bewirtschaftungsmaßnahmen (also auch Düngung und Pflanzenschutz) quer zum Hang erfolgen. Es dürfen keine Fahrspuren hangauf-hangab entstehen. Bei Hangneigungen von 3 – 8 % ist die Wirkung der Konturnutzung am größten (SCHWERTMANN et al., 1990). Bei zunehmender Hangneigung und Hanglänge sowie bei sehr extremen Niederschlagsereignissen nimmt sie ab, weil sich immer mehr Wasser in den Furchen sammelt und die Gefahr steigt, dass diese durchbrechen. Aus Sicht der Landschaftsästhetik belegen verschiedene Untersuchungen, dass eine konturangepasste Ackerbewirtschaftung sich positiv auf das Landschaftsbild auswirkt (z. B. HOISL et al., 1987).

B) Maßnahmen der Nutzungsänderung

Die geplanten Maßnahmen der Nutzungsänderung können sowohl aus abiotischer und biotischer Sicht sowie aus der Sicht des Landschaftsbildes eine hohe Bedeutung für den Naturschutz in der Agrarlandschaft besitzen. Eine besondere Funktion für den vorbeugenden Hochwasserschutz kann durch die Umwandlung von Ackerflächen in Wald (Aufforstung) erzielt werden. Durch die hohe Infiltrationsrate und Wasserspeicherfähigkeit der Waldböden und die permanente Wasseraufnahme durch Assimilation und Transpiration können Oberflächenabflüsse erheblich reduziert werden (z. B. BORK, 2003; LFP, 2003; MENDEL, 2000; WOHLRAB et al., 1992). In diesem Zusammenhang muss allerdings betont werden, dass auch die Hochwasserschutzwirkung des Waldes in erheblichem Maße durch die Bodenverhältnisse unter dem Wald bestimmt wird (z. B. BOTT et al., 2000). Dies belegen auch eigene Untersuchungen im Rahmen des HONAMU-Projektes. Grundsätzlich können Erstaufforstungen von Ackerflächen auch andere Ziele und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege unterstützen. Aber auch negative Auswirkungen wurden beschrieben, einen Überblick hierüber gibt KLEIN (1997).

Positive Auswirkungen von Erstaufforstungen sind insbesondere auf vormals intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen und in waldarmen Landschaften zu erwarten. Hier können diese eine sinnvolle Ergänzung zur Wiederanreicherung der Agrarlandschaft mit naturnahen Strukturen dar-

stellen. Als positive Wirkungen von Wäldern können die Erhöhung der Biodiversität, die Grundwasserschutzfunktion, die Bodenschutzfunktion (Erosion), die Verbesserung des Landschaftsbildes sowie der Beitrag zum Klimaschutz, zur Luftreinhaltung und zum Lärmschutz genannt werden. Diese positiven Umweltwirkungen von Aufforstungen bzw. Wäldern in Agrarlandschaften sind bekannt und wurden bereits vielfach dokumentiert (z. B. STEIDL und RINGLER, 1997b; MEIWES, 1993; HOISL et al., 2000). Erstaufforstungen sind allerdings vielfach zu einem Konfliktfeld zwischen Naturschutz und Forstwirtschaft geworden. So wurden Erstaufforstungen z. B. als eine Ursache des Artenrückgangs (KORNECK und SUKOPP, 1988) und als Ursache für negative Veränderungen in Schutzgebieten benannt (HAARMANN und PRETSCHER, 1993). Konflikte aus Sicht des Naturschutzes ergeben sich vor allem in Bereichen, die noch extensive oder mittelintensive landwirtschaftliche Nutzungen und entsprechende Biotoptypen aufweisen und in denen die Beibehaltung einer charakteristischen Wald-Offenland-Verteilung dem naturschutzfachlichen Landschaftsleitbild entspricht (KLEIN, 2003). Probleme können direkt oder indirekt auf Nachbarflächen wirken (z. B. Verinselung, Barrierewirkung für Migration und Dispersion, Schattenwirkungen, Landschafts-Fragmentierung, Flächenreduzierung von Wald-Offenland-Grenzlinien, Barrierewirkung für Kaltluftabfluss) (z. B. GEIER, 1993; GÜTHLER et al., 2002). Es sind häufig Grenzertragsstandorte mit großer naturschutzfachlicher Wertigkeit und/oder Entwicklungsfähigkeit, für die Erstaufforstungen vorgesehen werden. Dies bringt aus der Sicht des Naturschutzes zusätzliche Probleme mit sich (vgl. GÜTHLER et al., 2002; STEIDL und RINGLER, 1997b).

Auch die Umwandlung von Acker in Grünland und die zeitweise oder dauerhafte Stilllegung der Flächen können zu einer deutlichen Verbesserung der Wasserrückhaltefähigkeit der Landschaft beitragen (z. B. ERNSTBERGER et al., 1992; HUBER et al., 2005). HOISL et al. (2000) weisen ferner darauf hin, dass Brachen und Grünländer besonders in Bereichen mit ansonsten intensiv genutzten Gebieten das Landschaftsbild anreichern und die landschaftliche Eigenart und Vielfalt erhöhen. Darüber hinaus können die Maßnahmen zur Verbesserung der Lebensraumfunktion für Tiere und Pflanzen (Funktion als Lebensraum oder Teillebensraum, als Nahrungsquelle, als Brutgebiet, als Rückzugsraum, als Biotopverbundstruktur) und der bioklimatischen und lufthygienischen Ausgleichsfunktion beitragen (Funktion für die Kaltluftentstehung und -abfluss, die Ausfilterung von Luftschadstoffen). FLADE et al. (2003) fordern daher die Bereitstellung eines ausreichenden Anteils an Brachen bzw. Stilllegungsflächen in der Agrarlandschaft (unterer Schwellenwert bei 10 % Flächenanteil).

Für viele Arten kommt den ein- bis mehrjährigen Stilllegungsflächen eine Schlüsselrolle zu. Das Naturschutzpotenzial und die Artenvielfalt hängen hierbei nicht nur von der Landschaftsstruktur und der Verfügbarkeit von Diasporen ab, sondern werden weiterhin wesentlich auch von der Trophie der Standorte geprägt (KLOTZ, 1996). Deshalb sollten primär nährstoffärmere Standorte als Brachen genutzt werden, da auf diesen Standorten die vielfältigste Vegetation zu erwarten ist. Während bei Ackerbrachen zumindest in den ersten Phasen mit einer Erhöhung der Artenzahlen zu rechnen ist, die im weiteren Verlauf der Entwicklung z. T. zurückgehen, erfolgt bei Grünland sofort

ein drastischer Artenrückgang nach Brachfallen. Deshalb sollten Grünlandbrachen die Ausnahme bilden. Durch Extensivierung der Grünlandnutzung werden günstigere Naturschutzeffekte bewirkt (KLOTZ, 1996).

C) Maßnahmen der Flurgestaltung

In Landschaften, in denen intensive Landwirtschaft bei gleichzeitig hoher natürlicher Abflussbildung und Erosionsdisposition Schäden erwarten lässt, ist die Untergliederung und Verkleinerung von Ackerschlägen ein vorrangiges Anliegen des Naturschutzes. Verschiedene Autoren weisen darauf hin, dass durch eine kleinparzellerte, vielfältige Landnutzung der Abfluss wesentlich gegenüber einer homogenen, großflächigen Landnutzung vermindert werden kann - und dies bei durchaus gleicher Fruchtartenverteilung (z. B. AUERSWALD, 2002). WOOLHISER et al. (1996) benutzen in diesem Zusammenhang den Begriff der sog. „Runon-Infiltration“. Demnach bekommt der Abfluss durch eine vielfältigere Landnutzung immer wieder die Möglichkeit, von wenig bedeckten Nutzflächen auf gut bedeckte und infiltrationsfähige Nutzflächen zu gelangen und dort zu infiltrieren. Eine stark eingeschränkte Anzahl an Kulturen in Verbindung mit sehr großen Schlägen beeinflusst darüber hinaus auch das Landschaftsbild und die Lebensraumfunktion des Agrarraumes für die Flora und Fauna (z. B. HOISL et al., 1987; FLADE et al., 2003). ROTH et al. (1996) betonen jedoch, dass auch kleine Felder alleine noch keine Garantie für günstige Habitatbedingungen bieten, wenn die Nutzungsintensität sehr hoch und die Fruchtartenvielfalt sehr gering ist und umgebende Biotopstrukturen fehlen. Aus naturschutzfachlicher Sicht sollte die Maßnahme der Schlagverkleinerung daher mit schlaguntergliedernden Maßnahmen wie z. B. Hecken oder Gras- und Krautsäumen kombiniert werden.

Aus Sicht des Hochwasserschutzes stellt die Begrünung von Abflussbahnen mit sog. „grassed waterways“ eine besonders effektive fluruntergliedernde Maßnahme dar. Erfahrungen zur Wirksamkeit liegen u. a. bei HUBER et al. (2005) vor. Bei einer Länge von 650 m und einer Breite von 10-50 m ergab sich eine deutliche Absenkung des Abflusses aus dem Einzugsgebiet (Abflussminderung im Mittel bei 39 %, Minderung des Sedimentaustrags im Mittel um 82 %, Minderung des Verlustes an mineralischem Stickstoff im Mittel um 84 %). Die Effektivität dieser Maßnahme hängt wesentlich von der durchflossenen Breite und dem Querprofil ab (HUBER et al., 2005; FIENER und AUERSWALD, 2005a, b). In Bezug auf die Vegetation zeigte die Sukzessionsbrache Vorteile gegenüber einer Ansaat. Bei Verschlammung reduziert sich die Retentionsfähigkeit der Maßnahme allerdings deutlich.

Zur speziellen Bedeutung von „grassed waterways“ für den biotischen Naturschutz liegen erst wenige Untersuchungen vor. BRYAN und PEASE (1990) haben die Bedeutung für die Vogelwelt untersucht. Sie stellten eine besondere Bedeutung als Nahrungsquelle, Rückzugs- und Brutraum fest. Während im Umfeld nur 14 Arten nachgewiesen werden konnten, waren auf den Grünstreifen insgesamt 48 Vogelarten vertreten. Je breiter die „grassed waterways“ waren, umso mehr Vögel wurden angetroffen (insb. Bruten). Es ist davon auszugehen, dass die allgemeine Funktion der

Maßnahme für den Arten- und Biotopschutz und das Landschaftsbild daher ähnlich derer „normaler“ Grasstreifen sind. Beeinträchtigungen ergeben sich vermutlich aufgrund des verhältnismäßig hohen und regelmäßigen Sediment- und Nährstoffeintrags.

Die Anlage von Abflussmulden ist aus Naturschutzsicht differenziert zu betrachten. Retentionsbecken in Form von Hangmulden (ggf. mit Dämmen und kontrolliertem Auslauf) bewirken nach HUBER et al. (2005) eine Verlangsamung des Abflusses (Sedimentation bis zu 50 % der Bodeneinträge) und eine Verkürzung der abfluss- und erosionswirksamen Hanglänge (Verhinderung von linearer Erosion). HACH und HÖLTL (1989) weisen darauf hin, dass kleine Retentionsbecken relativ schnell überfüllt sind und daher auf den Ablauf größerer Hochwässer nach Stark- und Dauerregen keinen wesentlichen Einfluss ausüben können. Für den Wasserrückhalt in der Fläche bei kleineren Niederschlagsereignissen und zur Verhinderung von Humus-, Nährstoff- und Schadstoffeinschwemmungen in die Gewässer können sie allerdings viel beitragen, wenn sie laufend unterhalten werden (GRAUVOGL et al., 1994; HACH und HÖLTL 1989). Ferner tragen sie als Gewässer zur Grundwasserneubildung bei und bereichern das Landschaftsbild.

Aus Naturschutzsicht entsprechen die Abflussmulden am ehesten Kleingewässern, die durch nutzungsbedingte Minderung der Retention in natürlichen oder künstlichen Geländevertiefungen entstehen, vergleichbar mit den von GRAUVOGL et al. (1994) beschriebenen Gewässertyp der Sekundärpfützen und -tümpeln bzw. den Acker(pseudo)sollen in welligen Landschaften mit abflussfördernden Nutzungen. Derartige Gewässer, die von Oberflächenwasser und Niederschlägen gespeist werden, weisen eine sehr starke Wasserstandsschwankung auf und sind daher häufig ephemere (kurzlebig bis eintägig). Die durch die Maßnahme entstehenden Feuchtlebensräume sind besonders durch Schädwirkungen in Folge des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln betroffen, weil sich diese hier akkumulieren und i.d.R. keine Verdünnung erfolgt.

Mögliche Folgen der Schadstoffbelastung (z. B. Herbizide) sind Sauerstoffmangel bis hin zu Schädigungen und der Vernichtung ganzer Lebensgemeinschaften (z. B. Amphibien). Oberflächliche Abflüsse von landwirtschaftlichen Nutzflächen sind außerdem wegen ihrer Befruchtung mit partikulärem und gelöstem Phosphat hinsichtlich der Eutrophierung problematisch (Huber et al., 2005). Durch die Eutrophierung in Folge Düngemittelintrag verändert sich die Lebensgemeinschaft und es setzt ein rascher Verlandungsprozess ein. Überschüssige Nährstoffe werden ebenso wie mineralische Einschwemmungen als Schlamm am Gewässerboden abgelagert. ROWECK (zit. in GRAUVOGL et al., 1994) weist deshalb darauf hin, dass in einer Geländesenke auf Dauer keine oligotrophen Lebensräume etabliert werden können. Zwar können kurzfristig Stoffeinträge durch zusätzliche Pufferstreifen verhindert werden, aber bereits mittelfristig hilft nur noch eine wirksame Verhinderung des Eintrags. Eine besonders wirksame erosionsmindernde, und damit stoffeintragsreduzierende Maßnahme stellt die dauerhafte Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung auf den angrenzenden Ackerflächen dar. Die Bedeutung der Abflussmulden für Arten- und Lebensgemeinschaften ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Neben den Standortbedingungen

(Geologie/Boden, Topographie, Wasserdargebot, Temperatur), der Oberfläche und Uferlänge, Tiefe und Volumen, Substrat und Abdichtung, Chemismus (z. B. pH-Wert, Sauerstoffgehalt), dem Alter, und Nutzungseinflüssen (Eintrag von Pflanzenschutzmitteln, Dünger etc.) ist besonders das Strukturangebot ein entscheidender Faktor für die Artenausstattung (vgl. GRAUVOGL et al., 1994). Bei optimaler Umsetzung können die Geländemulden eine Lebensraumfunktion für Arten und Lebensgemeinschaften temporärer eutropher Stillgewässer übernehmen.

Schlaguntergliedernde Kleinstrukturen wie Hecken, Feldgehölze oder Gras- und Krautstreifen erfüllen wichtige Funktionen im Naturhaushalt der Agrarökosysteme. Neben ihrer Bedeutung für die Ästhetik und die Erlebniswirksamkeit der Landschaft (z. B. HOISL et al., 1987 u. 2000) tragen diese Maßnahmen zur Erhöhung der biologischen Vielfalt und zum Biotopverbund (z. B. KRETSCHMER et al., 1995; LINK, 1998; RECK et al., 1999) sowie zur Verbesserung des Wasser- und Stoffrückhaltevermögens bei (z. B. DE JONG und KOWALCHUK, 1995; HERRMANN, 1995; MEROT, 1999; MICHAEL, 2001; VIAUD et al., 2005).

Zahlreiche Studien belegen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der hochwasserschutzrelevanten Retentionsfunktion der Agrarlandschaft und der Ausstattung mit Strukturelementen besteht (z. B. BMVEL, 2005; BORK, 2003; DE JONG und KOWALCHUK, 1995; HACH und HÖLTL, 1989; KNAUER, 1993; MEROT, 1999; PERL et al., 1999; RÜTER, 2006; SCHOB et al., 2004; VIAUD et al., 2005; WERNER, 2000). Flurgliedernde Biotopstrukturen können durch eine Verkürzung von abflusswirksamen Hanglängen und durch die Abbremsung und Versickerung von Oberflächenabfluss nachweislich zur Reduzierung des Oberflächenabflusses sowie der resultierenden Erosion beitragen. In Abhängigkeit von Verdichtung und Breite der Strukturen und der Menge des Oberflächenabflusses kann ein Teil bzw. auch der gesamte Oberflächenabfluss infiltrieren (MICHAEL, 2001). Das Verschwinden und die Zerstörung von Biotopelementen wie Hecken und Feldraine werden daher auch zunehmend mit dem Anstieg der Hochwasserproblematik in Verbindung gebracht (z. B. FELDWISCH, et al. 1999; PESSEL, 1997; VIAUD et al., 2005). Darüber hinaus können die schlaguntergliedernden Maßnahmen einen wertvollen Beitrag zur Puffer- und Filterfunktion des Naturhaushalts leisten, indem sie Nährstoffe und Sedimente von den Landwirtschaftsflächen abfangen und einen Eintrag in angrenzende Biotope vermindern (z. B. FABIS et al., 1993; HERRMANN, 1995; KNAUER und MANDER, 1989; STEIDL und RINGLER, 1997a).

Die Wirksamkeit der flurgliedernden Maßnahmen für die verschiedenen Landschaftsfunktionen bzw. Naturschutzziele hängt ganz maßgeblich von ihrem Flächenanteil und der konkreten Ausgestaltung (z. B. Breite, Dichte, Vegetation) vor Ort ab. Empfehlungen über anzustrebende Minstdichten und Flächenanteile finden sich u. a. bei BROGGI und SCHLEGEL (1989), HABER (1993), KAULE (1985), KNICKEL et al. (2001), KRETSCHMER et al. (1995), RÖSER (1995), ROTH et al. (1996), SRU (1985) und STEIDL und RINGLER (1997b). Demnach sollten mindestens 5 %, möglichst sogar noch größere Teile der landwirtschaftlichen Nutzfläche, als Ausgleichsbiootope angelegt werden. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU, 1985) fordert die Bereitstellung von durchschnittlich

10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche für naturbetonte Biotop. Die geforderten 10 % verstehen sich hierbei als Durchschnittswert, der je nach Naturraum bzw. Agrargebiet variieren und von 5 % bis über 20 % schwanken kann. Die bloße Annahme von z. B. Heckennetzdichten (z. B. BROGGI und SCHLEGEL, 1989; KAULE, 1985) reicht jedoch alleine nicht aus, um (multi-)funktionale Naturschutzkonzepte für die Agrarlandschaft zu entwickeln. Hierfür muss die Heterogenität und räumliche Verteilung der aktuellen Biotopausstattung im Zusammenhang mit den Standortpotenzialen für die jeweiligen Landschaftsfunktionen berücksichtigt werden.

4.2.3.2.3 Exkurs – Fallstudien zur Bedeutung von Saumstrukturen für die Oberflächenabflussretention und den Biotopverbund in Agrarlandschaften

Im Rahmen des HONAMU-Projektes wurde anhand zweier Gewässereinzugsgebiete im sächsischen Lösshügelland exemplarisch untersucht, welchen Einfluss verschiedene Ansätze der Landschaftsstrukturierung mit Gras- und Krautstreifen auf die Oberflächenabflussretention haben. Untersucht wurden sowohl die Auswirkungen von verschiedenen Flächenanteilen (10, 15, 20 % Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche) als auch der Einfluss der Landschaftskonfiguration (engmaschige bzw. großmaschige Strukturierung). In der Variante „Großmaschige Strukturierung“ wurde die Agrarlandschaft durch ein Netz aus komplexen, bandförmigen Gras- und Krautstreifen eingefasst. Der Ansatz folgte der klassischen Trennung zwischen intensiv genutzten Produktionsbereichen (insbesondere Schlaggröße und -zuschnitt) und Bereichen mit Vorrangfunktion für den Naturschutz. Diese Funktionstrennung ist für das fruchtbare Lösshügelland typisch und wird durch die aktuelle Förderkulisse begünstigt. In der gegenübergestellten Variante „Engmaschige Strukturierung“ wurden die Biotopstrukturen bei gleichem Flächenumfang als dichtes Netz schmaler Linienelemente angeordnet. Obwohl ein solches Leitbild in der Lössregion aufgrund der historisch gewachsenen Agrarstruktur wohl nur schwer zu realisieren wäre, bot sich mit diesem Untersuchungsansatz die Möglichkeit, die Auswirkungen einer primär naturschutzfachlich motivierten Flurgestaltung abzubilden.

Die Prognose der Abflussbildung erfolgte mit dem physikalisch begründeten, ereignisbezogenen Simulationsmodell EROSION-3D (v. WERNER; 1995) unter Annahme eines "Worst-Case-Zustands" mit Anbaukultur Mais im Saatbettzustand und hoher Bodenfeuchte. Die Szenarios wurden sowohl unter Annahme einer flächendeckenden konventionellen (Pflug) als auch einer konservierenden Bodenbearbeitung (Zinkenrotor, 30 % Mulchbedeckung) gerechnet.

In einem zweiten Schritt wurde untersucht, welche Auswirkungen die Szenarios auf den Biotopverbund in der Agrarlandschaft haben. Gemäß der Definition des Arbeitskreises "Länderübergreifender Biotopverbund" beschreibt der Begriff Biotopverbund „[...] die Erhaltung, die Entwicklung und die Wiederherstellung der räumlichen Voraussetzungen und funktionalen Beziehungen in der Natur und Landschaft mit dem Ziel, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume langfristig zu sichern. Dabei beziehen sich die räumlichen Voraussetzungen auf die Sicherung und Bereitstellung von Flächen für ein funktional zusammenhängendes Netz, das landschaftstypische

Lebensräume und Lebensraumkomplexe einbindet und das den Auswirkungen räumlicher Verinselung entgegenwirkt" (BURKHARDT et al., 2003: 418). Biotopverbund kann sinnvoll und überprüfbar nur im Hinblick auf bestimmte Zielarten geplant werden. Im Rahmen der Fallstudien fiel die Auswahl auf die Roesels Beißschrecke (*Metrioptera roeselii*) (Saltatoria). Die Heuschreckenart erfüllt sämtliche Kriterien, die in Tabelle 6 dargestellt sind. Mit *Metrioptera roeselii* wird eine in Sachsen weit verbreitete Heuschreckenart (KLAUS, 2003) mit Dichteschwerpunkt in langgrasigen Beständen wie Grünland, Brachen und Staudensäumen betrachtet, welche Saumbiotope sowohl als Biotopverbundstruktur aber auch als eigenständigen Lebensraum und als Larvalhabitat nutzt. Die Auswirkungen auf die Biotopverbundsituation bzw. die Überlebensfähigkeit der Zielart wurden mit dem Modell Meta-X (FRANK et al., 2003) simuliert.

Tabelle 6: Auswahlkriterien zur Ermittlung einer Zielart

Auswahlkriterien
<ul style="list-style-type: none"> • ausreichender Kenntnisstand über die Ökologie der Art • vertretbarer Arbeitsaufwand der Felderhebung • Leitart der offenen Feldflur mit qualitativ und quantitativ hohen Ansprüchen an die Ausstattung und Struktur der Landschaft • Indikatorfunktion für funktionale Zusammenhänge in der Landschaft • zumindest stetigem Vorkommen im Gebiet • (Meta-)Populationen mit mikroskaligem Verbreitungsmuster/Bezugsgeometrie ähnlich der Gewässereinzugsgebiete

Die Untersuchungsergebnisse sind ausführlich bei RÜTER (2007) dokumentiert (in Teilen veröffentlicht bei RÜTER, 2006; RÜTER und REICH, 2005b). Es stellte sich heraus, dass die Retentionsleistung von Saumstrukturen mit zunehmendem Flächenanteil ansteigt (Abbildung 25 und Abbildung 26). Durch eine zielorientierte Maßnahmenplanung und -verortung konnte die Retentionsleistung der Gras- und Krautstreifen noch optimiert werden. Eine engmaschige Strukturierung erwies sich hierbei als hydrologisch und hydraulisch effektiver als eine großmaschige Strukturierung. Ferner wurde deutlich, dass die Saumstrukturen sowohl bei konventioneller Bodenbearbeitung als auch bei konservierender Bodenbearbeitung zum Wasserrückhalt beitragen. Höchste Effekte konnten durch eine Kombination von konservierender Bodenbearbeitung und zusätzlichen Biotopstrukturen erzielt werden.

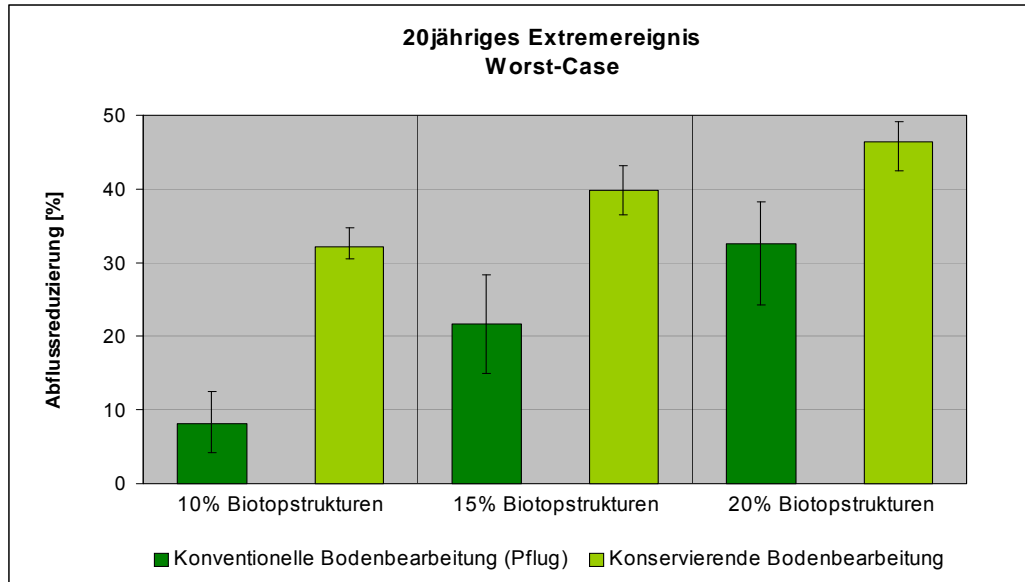


Abbildung 25: Einfluss von Biotopflächenanteil und Bodenbearbeitung auf die Abflussreduzierung (Maximum, Minimum, Mittelwert für die Einzugsgebiete Mockritzer Bach und Klatschbach) (verändert nach RÜTER, 2007)

Auch die Überlebensfähigkeit von *Metrioptera roeselii* ist in den Simulationen mit zunehmendem Biotopflächenanteil angestiegen. Die Untersuchungen belegen, dass durch eine zielorientierte Maßnahmenplanung die Biotopvernetzung deutlich erhöht und die Aussterbewahrscheinlichkeit dadurch verringert werden kann. Insbesondere bei den geringen Biotopflächenanteilen von 10 % zeigte die Zielvorgabe der Maßnahmenplanung signifikante Effekte. Eine großmaschige Strukturierung erschien dabei effektiver als eine engmaschige Strukturierung, dies insbesondere bei der Zielsetzung Biotopverbund (Abbildung 27).

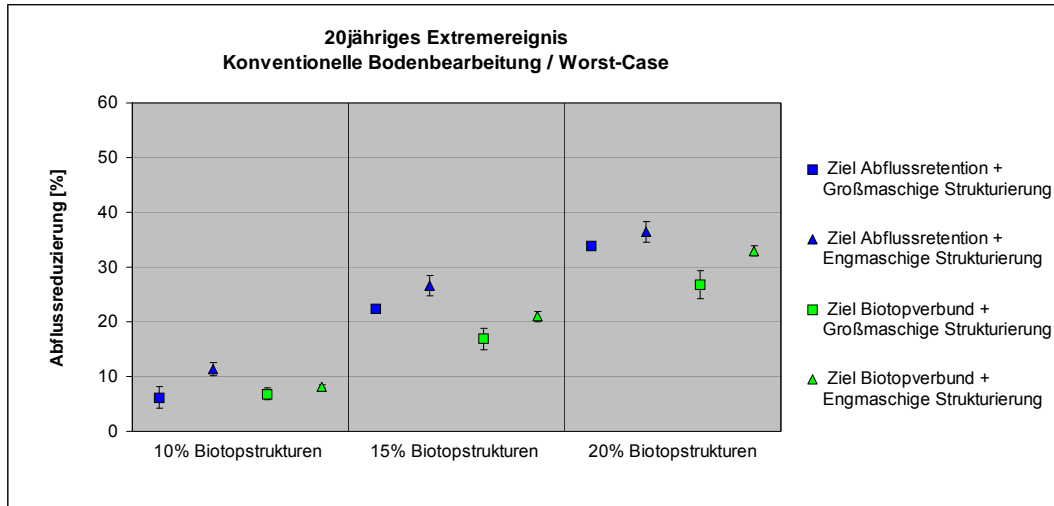


Abbildung 26: Einfluss von Biotopflächenanteil und Ansatz der Landschaftsstrukturierung auf die Abflussreduzierung (Maximum, Minimum, Mittelwert für die EZG Mockritzer Bach u. EZG Klatschbach) (verändert nach RÜTER, 2007)

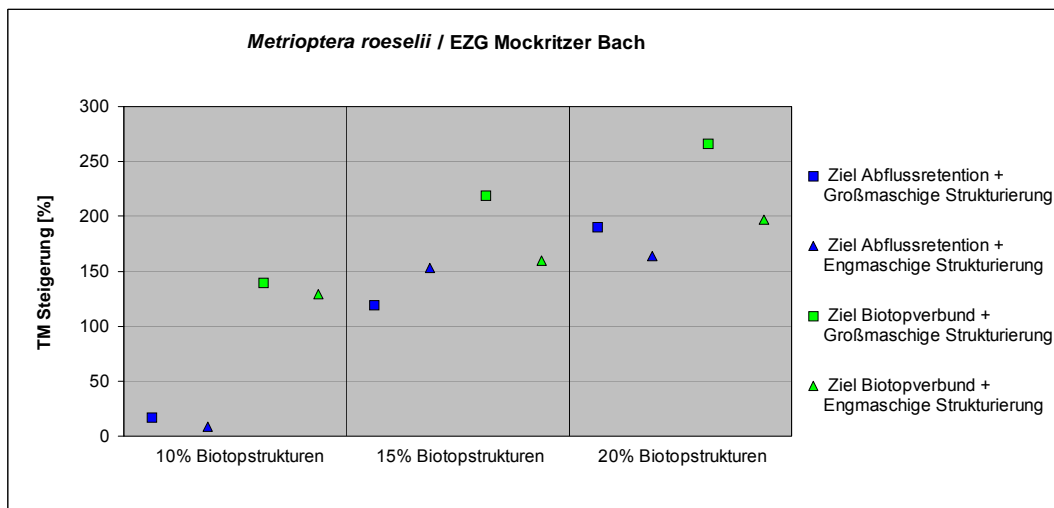


Abbildung 27: Einfluss von Biotopflächenanteil und Ansatz der Landschaftsstrukturierung auf die Überlebensfähigkeit (TM) von *Metrioptera roeselii* für das EZG Mockritzer Bach (verändert nach RÜTER, 2007)

In der Synopse der Modellergebnisse wird deutlich, dass eine Erhöhung des Biotopflächenanteils zu einer deutlichen Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens und der Biotopverbundsituation in der Agrarlandschaft führt. Die funktionsspezifische Wirksamkeit von Gras- und Krautsäumen ist dabei abhängig vom Ansatz der Landschaftsstrukturierung und von der Lage im Raum. Während sich die Biotopverbundvarianten i.d.R. deutlich positiv auf die Retention auswirkten, führten die Abflussvarianten erst ab größeren Flächenanteilen zu einer deutlichen Verbesserung der Biotopvernetzung. Die größten Synergieeffekte wurden bei 20 % Biotopflächenanteil erzielt. Bei 10 % Biotopflächenanteil war die Wirkung der Szenarios sehr verschieden (Abbildung 28).

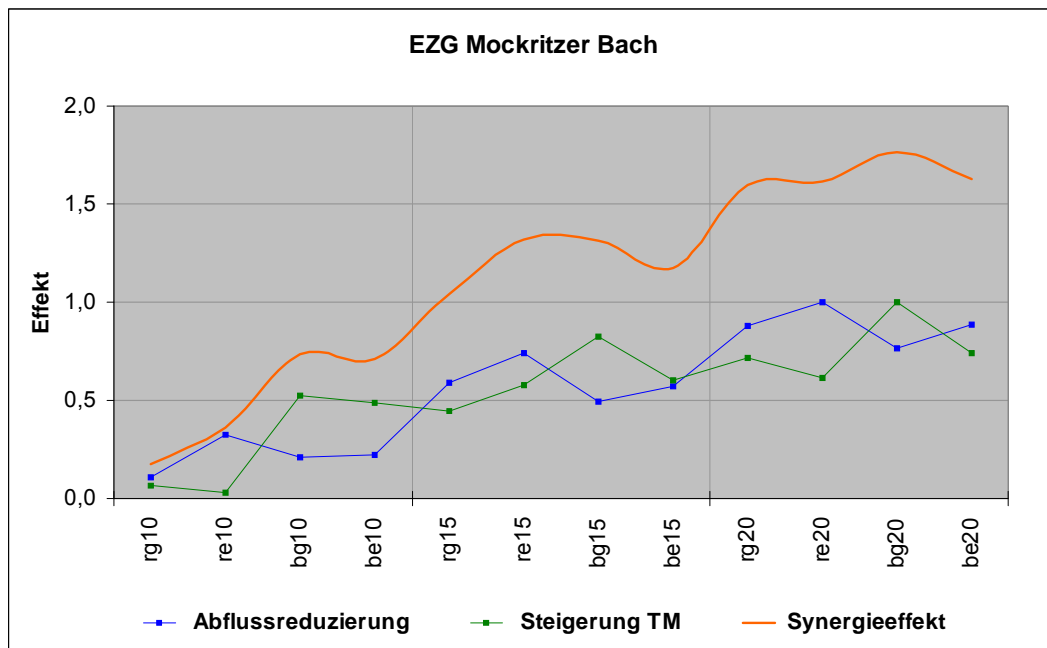


Abbildung 28: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse und Synergieeffekte der Szenarios

(Abflussreduzierung: 20-jähriges Extremereignis, Pflug, Worst-Case; TM: *Metrioptera roeselii*; Synergieeffekte: kumulativer Effekt; Szenarios: r = Ziel Abflussretention/b = Ziel Biotopverbund, e = Engmaschige Strukturierung/g = Großmaschige Strukturierung, 10/15/20 = Biotopflächenanteil) (verändert nach RÜTER, 2007)

4.2.3.2.4 Zusammenfassung

Weil der Großteil der landwirtschaftlichen Fläche nach dem Prinzip des konventionellen Landbaus bewirtschaftet wird, sollten die vorhandenen Umweltbelastungen im Rahmen dieser Bewirtschaftungsweise so weit wie möglich verringert werden. Es wurde deutlich, dass die Umstellung der Bodenbearbeitung auf konservierende Verfahren einen großen Beitrag hierzu leisten kann. Nicht nur aus der Sicht des vorbeugenden Hochwasserschutzes, auch vor dem Hintergrund des Erosionsschutzes und des Klimaschutzes bieten die pfluglosen Verfahren große Vorteile gegenüber den konventionellen Verfahren.

Gleichermaßen hat die Bewertung gezeigt, dass eine absolute Beziehung zwischen der Art der Bodenbearbeitung und der Umweltbelastung nicht gegeben ist. Auch eine pfluglos wirtschaftende Landwirtschaft ist kein Garant für Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit im Agrarraum, weil wesentliche Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege hierdurch nicht beeinflusst und verwirklicht werden können (z. B. Arten- und Biotopschutz, Biotopverbund, Landschaftsbild) (SALZMANN und RÜTER, 2007).

Obwohl erhebliche Vorteile aus der Sicht des abiotischen Ressourcenschutzes bestehen, muss ein integrativer Hochwasserschutz in den Einzugsgebieten auf eine insgesamt nachhaltige Entwicklung der Landnutzung und auf die Sicherung der biologischen Vielfalt abzielen. Ackerbauliche Maßnahmen wie die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung sollten daher mit flurgliedernden Maßnahmen (z. B. Gras- und Krautsäume, Hecken, Feldgehölze) und mit Maßnahmen der Nutzungsänderung (insb. Flächenstilllegung, Grünland) kombiniert werden. Angesichts der vielgestaltigen Naturschutzziele - z. B. Artenschutz, Erosions- und Gewässerschutz sowie Landschaftsbild - reicht es hierbei nicht aus, an beliebiger Stelle einen bestimmten Flächenanteil von landwirtschaftlicher Nutzung auszunehmen (vgl. SRU, 1985). Vielmehr sind diese Flächen in ein geschlossenes, die gesamte Agrarlandschaft netzartig durchziehendes System einzubinden, wobei den jeweiligen standörtlichen Gegebenheiten und den vorhandenen naturbetonten Biotopen Rechnung zu tragen ist (ebenda).

4.2.3.3 Ökonomische Bewertung der Maßnahmen

Bevor eine Empfehlung für ein Maßnahmenportfolio der einzelnen Steckbriefinhalte gegeben wird, muss angemerkt werden, dass die in Kapitel 4.2.3 und Kapitel 8.3 zu findenden Aussagen über die einzelnen Maßnahmen des Katalogs immer Tendenzaussagen darstellen. Die unterschiedlichen betrieblichen (z. B. Betriebsgröße), lokalen (z. B. Standortfaktoren wie Lage am Hang, verschiedene Bodenarten etc.) und regionalen (z. B. Minder- oder Hohertragsregion) Determinanten des Umsetzenden (z. B. Landwirt) erfordern stets eine einzelbetriebliche Prüfung. Durch die Vielzahl der möglichen Fälle und die zum Teil mangelnde Informationslage (siehe z. B. Forstwirtschaft) ist dies nicht zu vermeiden. Im Einzelfall kann es also je nach Betriebslage Abweichungen von den untenstehenden Aussagen geben. Die Bewertungen orientieren sich also immer am Durchschnitt der Betriebe und ihrer Determinanten (z. B. durchschnittliche Ertragslage der Region, durchschnittliche Kostensenkungen etc.).

Die Schätzungen für die Retentionskapazitäten stellen ebenfalls Anhaltspunkte dar, weil z. B. Grünland oder Wald diverse Unterformen aufweisen und außerdem auf völlig verschiedenen Bodenarten vorkommen. Die Rechnungen verstehen sich damit als Beispiele unter bestimmten Prämissen. Sie sind als „Handlungsleitfaden“ für lokal oder regional orientierte Bewertungen zu verstehen, welche Planer z. B. in Verwaltungen anwenden können, wenn ihnen regionale Daten wie Bodenart, Baumartenzusammensetzung etc. bekannt sind. Damit spannen die Rechnungen zu z. B. Erosionsvermeidung auf Ackerschlägen oder Wasserspeicherkapazität durch verschiedene Bewuchsformen

einen möglichen Rahmen auf, an dem sich die Entscheidungsfindung orientieren kann. Dieser Rahmen weist damit keinen Anspruch auf absolute Exaktheit aus, bildet aber Mindest- und Durchschnittsszenarien. Dieser Rahmen lässt belastbare Schlussfolgerungen zu, auch wenn nicht jeder Einzelfall erfasst wird.

Um den Gesamtnutzen für den vorbeugenden Hochwasser- und Naturschutz in Sachsen zu maximieren, sollten aus ökonomischer Sicht zuerst die Maßnahmen des Gesamtkatalogs umgesetzt werden, die (a) betriebswirtschaftlich und (b) volkswirtschaftlich effizient sind und (c) eine hohe und relativ verlässliche Hochwasserschutz- und umweltökonomische Wirkung aufweisen. Die Maßnahmen sollten weiterhin mit (d) großer Flächenausdehnung umsetzbar sein, um über lokale Wirkungen hinaus auch einen deutlichen Effekt auf ganz Sachsen aufzuweisen. Denn eine technisch sehr effiziente Hochwasserschutzmaßnahme verliert an Bedeutung, wenn sie nur lokal, d. h. auf wenigen Prozent der Fläche des Einzugsgebietes anwendbar bzw. Nutzen stiftend ist und ihre Wirkung für den Freistaat Sachsen marginal ausfällt.

4.2.3.3.1 Ranking der Maßnahmen aus ökonomischer Sicht

Unter diesen Gesichtspunkten sind als primäre Lösungen, was zum einen die ökonomische Effizienz und zum anderen den Zuwachs an Hochwasserschutzleistung über die Größe der Fläche angeht, die konservierende Bodenbearbeitung und die Direktsaat zu nennen. Die volkswirtschaftlichen (mit der Teilmenge der umweltökonomischen) Schäden werden bei gleichzeitiger Kostensenkung in den Betrieben signifikant gesenkt und der Hochwasserschutz (bei allen Kritikpunkten) deutlich verbessert. Weiterhin ist eine ausreichend große Fläche vorhanden, um einen signifikanten volkswirtschaftlichen Nutzen zu generieren. Weil die Umstellung keine Kosten hervorruft, die nicht durch Erträge gedeckt werden, (die Bewirtschaftung wird auf demselben Schlag umgestellt, ohne Ertragspotentiale zu schmälern), ist genügend Fläche zur Umsetzung vorhanden. Es muss keine zusätzliche Fläche hinzugezogen werden. Dies ist bei der Flächenknappheit durch die permanente, hohe Versiegelungsrate der Landschaft ein wesentlicher Faktor, denn andere Maßnahmen (z. B. Aufforstung) benötigen Flächen, die vorher in anderer Weise genutzt wurden, z. B. als Acker oder als Grünland. Allerdings ist als deutliches Manko zu konstatieren, dass die umweltökonomische Wirkung gering ausfällt, wenn man die nur geringfügig gesteigerten non-use-values wie Förderung der Biodiversität, Schaffung von Lebensräumen oder Steigerung der Strukturvielfalt der Landwirtschaft im Vergleich zur konventionellen Methodik hinzuzieht (vgl. Kapitel 4.2.3.2). Die konservierenden Verfahren sind folglich nicht isoliert, sondern nur im Verbund mit anderen Maßnahmen (z. B. Vegetationsstreifen) einzusetzen, weil ihre naturschutzfachliche Wirkung sonst zu gering ausfällt (vgl. SALZMANN und RÜTER, 2007).

Vergleicht man die umweltökonomischen Leistungen der oben genannten ackerbaulichen Verfahren mit den umweltökonomischen Leistungen (z. B. Artenschutz, Biotopverbund etc.) als auch der Hochwasserschutzwirkung von Grünland, Flächenstilllegungen oder der Aufforstung, so sind diese als vergleichbar gering einzuschätzen. Grünland und Aufforstungen weisen also durch ihren volks-

wirtschaftlichen Nutzen eine größere oder ebenso große Attraktivität im Vergleich zu anderen Maßnahmen (z. B. Querbewirtschaftung) auf. Die mangelhafte Erfassbarkeit in Geldeinheiten dieser Nutzen lässt eine detailliertere Aussage aber nicht zu. Hier soll als Prämisse die Annahme getroffen werden, dass die positiven Externalitäten dieser Maßnahmen insgesamt größer als bei allen anderen Maßnahmen sind, auch wenn diese Nutzen oftmals nicht monetarisierbar sind. Dies ergibt sich für den Autor u. a. aus der Bedeutung als Lebensraum und über die Flächenausdehnung. Allerdings ist die großflächige zusätzliche Ausdehnung von Grünland- und Forstflächen wegen der steigenden Flächenknappheit und der zum Teil betriebswirtschaftlich geringen Effizienz unwahrscheinlich, sodass trotz besserer Umweltwirkungen keine größere Anreizwirkung z. B. für den Ackerumbruch zu Grünland oder Wald zu erwarten ist.

Die Wirkungen der vorhandenen Grünland- und Forstflächen kommen allerdings auf einer relativ großen Fläche zum tragen (wenn man die Möglichkeit mit einbezieht, intensiv genutzte Grünlandflächen auf extensiven Betrieb umzustellen und die Möglichkeit des naturnahen Waldumbaus einrechnet), leider ist ihre betriebswirtschaftliche Attraktivität im Vergleich zu den Mulchsaatverfahren sehr begrenzt bzw. gering. Ihren hohen, großteils nicht monetarisierbaren Nutzen (z. B. CO₂-Senkenfunktion, Artenschutz, Erholungsfunktion der Landschaft) rechtfertigt volkswirtschaftlich eine Umsetzung trotz der betriebswirtschaftlichen Limitation vor den im Folgenden beschriebenen Maßnahmen. Dies impliziert ggf. aber die Notwendigkeit einer verbesserten Förderung (vgl. SALZMANN und RÜTER, 2007).

Eine weitere Gruppe wird durch Maßnahmen gebildet, welche auf Sachsen bezogen flächenmäßig geringe Anwendung finden dürften und welche positive umweltökonomische als auch hochwasserschutzrelevante Nutzen aufweisen. Betriebswirtschaftlich ist diese Gruppe kaum attraktiv. Zu ihr sind besonders alle Arten von Grünstreifen und Hecken, Feldgehölzen und Abflussmulden zu rechnen. Bisher ist die Umsetzung solcher Maßnahmen marginal. Lokal können sie signifikante Hochwasserschutzwirkungen entfalten und ihre umweltökonomische Bedeutung ist trotz kleiner Fläche für Sachsen sehr hoch. Dies begründet sich z. B. in der Bedeutung für den Biotopverbund (z. B. durch Hecken, Gras- und Krautstreifen als Linienbiotope oder Feldgehölzen und Mulden als „Inseln“) und der Schaffung von Lebensräumen als auch der Pufferwirkung bei Boden- und Schadstoffabträgen. Aus der Sicht des Naturschutzes wird eine Umsetzung von flurgliedernden Maßnahmen auf 5 – 20 % der Landwirtschaftsflächen gefordert. Diese Gruppe an Maßnahmen wurde bisher aber kaum umgesetzt. Setzt man die Prämisse, dass die Umsetzung volkswirtschaftlich erwünscht ist, so ist es wahrscheinlich, dass hier nicht ausreichend gefördert wird. Diese Maßnahmen sollten mit ackerbaulichen Verfahren kombiniert werden, um die Nutzen aus Sicht des Hochwasser- und besonders des Naturschutzes zu optimieren. Sie werden im ökonomischen Ranking allerdings aufgrund der geringen Flächenwirkung für den Hochwasserschutz knapp hinter obigen Maßnahmen (Wald, Grünland) aufgelistet.

Zur letzten Gruppe lassen sich die Konturnutzung und die Schlagverkleinerung zählen. Die umweltökonomischen Wirkungen als auch der Beitrag zum Hochwasserschutz sind im Vergleich zu den anderen Maßnahmen als gering anzusehen. Diese Maßnahmen sollten deshalb primär als begleitende Möglichkeiten angesehen werden, weniger als eigenständige Konzepte.

Tabelle 7: Ökonomisches Ranking der Maßnahmen

Rang	Maßnahmen	volkswirtschaftlich	betriebswirtschaftlich	umweltökonomisch	Hochwasserschutz
1	Kons. BB. Direktsaat	++	++	0 / +	+
2	Extensives Grünland/ Stilllegung	++	- / 0	++	+ / ++
2	Aufforstung Feldgehölze	++	--	++	++
3	Vegetations- streifen und Mulden	0	--	++	(+)
4	Schlag- verkleinerung	+ / 0	0	- / 0	0
4	Querbewirt- schaftung	- / 0	0	- / 0	0

(-- sehr negativ, - negativ, 0 neutral bzw. mäßig, + positiv, ++ sehr positiv, (+) mit Einschränkung)

5 Expertensystem zur Erstellung von Maßnahmenkarten

Mit Hilfe der Maßnahmenkarten soll für das Einzugsgebiet der Mulde aufgezeigt werden, wo und welche Änderungen der Landnutzung oder Landbewirtschaftung aus der Sicht des Hochwasserschutzes in der Fläche besonders effektiv sind. Sie sind zusammen mit der Potenzialanalyse eine entscheidender Schritt zur Umsetzungsszenarien und ein wichtiger Baustein in den Handlungsempfehlungen, die von diesem Projekt ausgehen.

5.1 Vorgehensweise

5.1.1 Lösungsansatz

Der in Kapitel 4 vorgestellte Maßnahmenkatalog mit den dazugehörigen Steckbriefen repräsentiert eine fachübergreifende Wissensdatenbank, die die wichtigsten Maßnahmen für den Wasserrückhalt in der Fläche im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft und der Landwirtschaft detailliert beschreibt. Für die einzugsgebietsweite Anwendung dieses Fachwissens bedarf es eines

Bindeglied, das in der Lage ist, möglichst viele Informationen der Wissensdatenbank auf die Standorte des Mulde-Einzugsgebietes zu übertragen.

Als Übertragungswerkzeug von der lokalen Ebene zur regionalen Ebene wurde vom Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau im Rahmen einer Dissertation (Jin, 2005) ein computergestütztes GIS-basiertes Expertensystem entwickelt. Dieses Werkzeug kann komplexe Entscheidungsprozesse, die sich aus den Maßnahmenbeschreibungen ableiten lassen, aufnehmen und diese mit den Flächeninformationen des Einzugsgebietes verknüpfen. Das Ergebnis dieser GIS-basierten Expertensystemanwendung, sind die sogenannten Maßnahmenkarten. Diese Karten stellen dar, welche Standorte für die betrachteten Maßnahmen geeignet sind. Diese Eignung konzentriert sich auf den Aspekt des vorbeugenden Hochwasserschutzes, ohne dabei die Kriterien aus landwirtschaftlicher, naturschutzfachlicher, siedlungswasserwirtschaftlicher und/oder ökonomischer Sicht aus den Augen zu verlieren.

In Abbildung 29 ist die grundsätzliche Herangehensweise zur Erstellung der Maßnahmenkarten in vier Schritten dargestellt:

Schritt 1: Aufbereitung der Eingangsdaten

Schritt 2: Klassifizierung/Interpretation der Eingangsdaten

Schritt 3: Entscheidungsprozess

Schritt 4: Ausgabe der Ergebnisse und Hinweise aus dem Entscheidungsprozess.

Grundsätzlich kann zwischen der Maßnahmenkarte für den Siedlungsbereich und den Maßnahmenkarten für die landwirtschaftlich genutzten Flächen unterschieden werden, die das Ergebnis zweier separater Expertensystemoperationen sind. Theoretisch wäre es denkbar, den Entscheidungsprozess unabhängig von der bestehenden Nutzung durchzuführen. Weil die Auswahl der Maßnahmen für urbane und landwirtschaftliche Flächen jedoch keine Überschneidung aufweist und sich die notwendigen Flächendaten teilweise deutlich unterscheiden, wurde auf diesen Aufwand verzichtet.

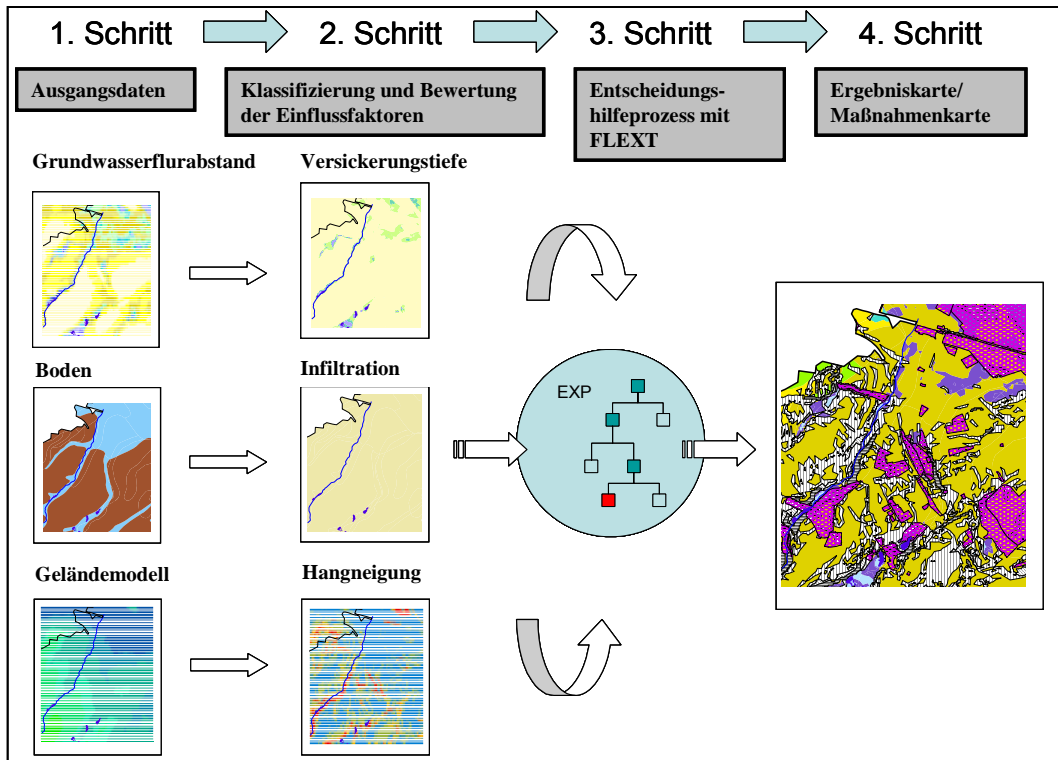


Abbildung 29: Lösungsansatz zur Erstellung der Maßnahmenkarten

5.1.2 FLEXT - FLExible EXpert Tool

Wie bereits eingangs erwähnt, wurde für den automatisierten Entscheidungsfindungsprozess auf Einzugsgebietsebene das computergestützte Expertensystem FLEXT (Jin, 2005) programmiert. In der ersten Anwendungsphase müssen die Regeln des Entscheidungsprozesses in das Modell FLEXT eingegeben werden. FLEXT bietet hierzu eine grafische Oberfläche an. In Abbildung 30 ist die Eingabemaske zur Definition von Entscheidungsregeln dargestellt. Die Regeln lassen sich in Form von „Entscheidungs-Bäumen“, als Matrizen oder im Falle komplexer Regelwerke als Kombinationen dieser Strukturen darstellen (Abbildung 31). Die Komplexität der Regeln ist nicht durch das Modell, sondern vielmehr durch den Nutzer limitiert.

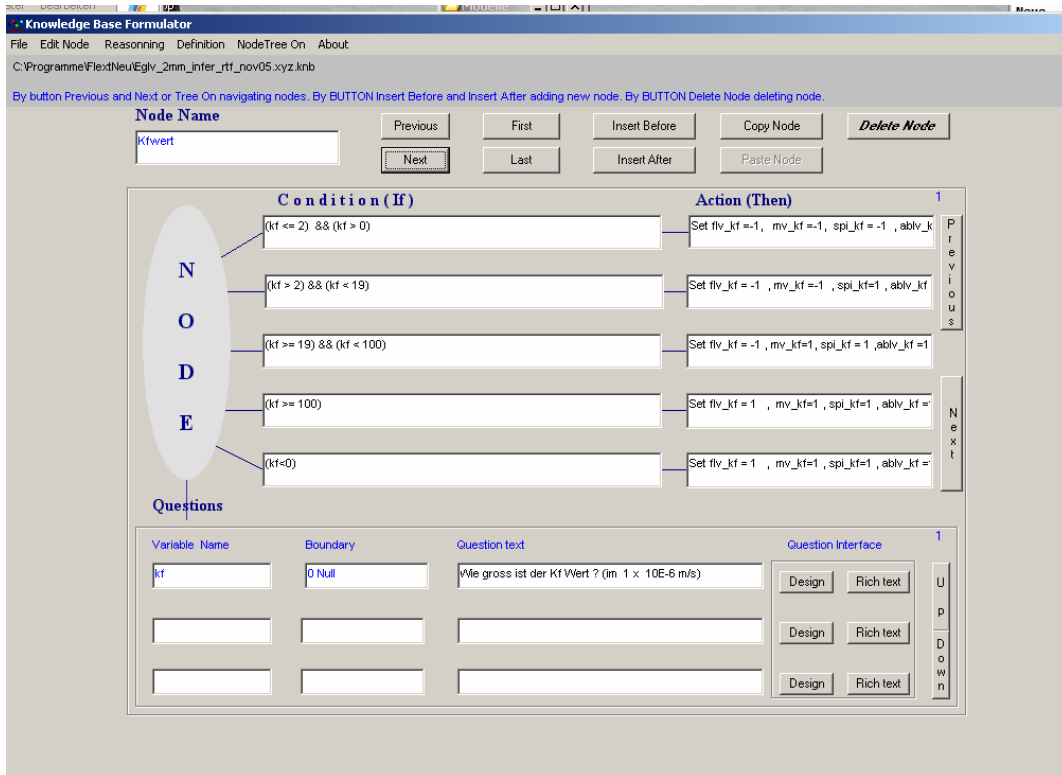


Abbildung 30: Eingabemaske zur Definition von Entscheidungsregeln

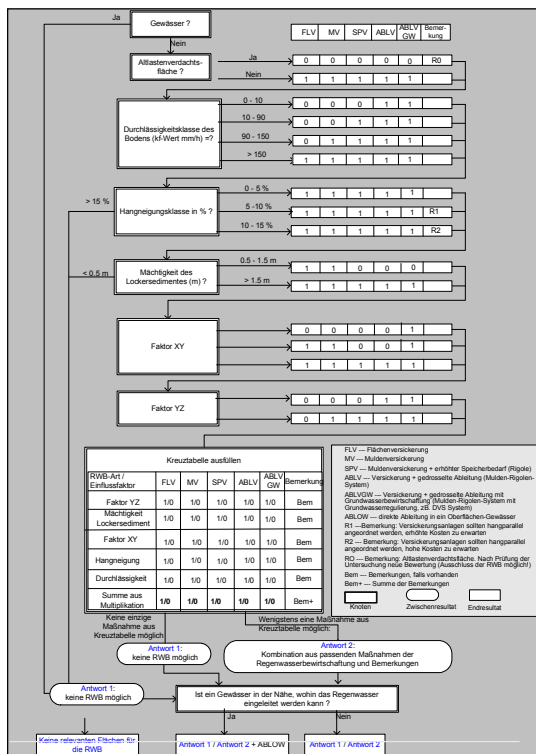


Abbildung 31: Beispiel für die grafische Darstellung von Entscheidungsregeln

Die Prüfung der Regelstruktur im System erfolgt durch Eingabe von ausgewählten Beispielstandorten, wobei die Entscheidungsfindung durch FLEXT grafisch dargestellt wird (Abbildung 32) und dann mit dem Soll-Ergebnis verglichen werden kann.

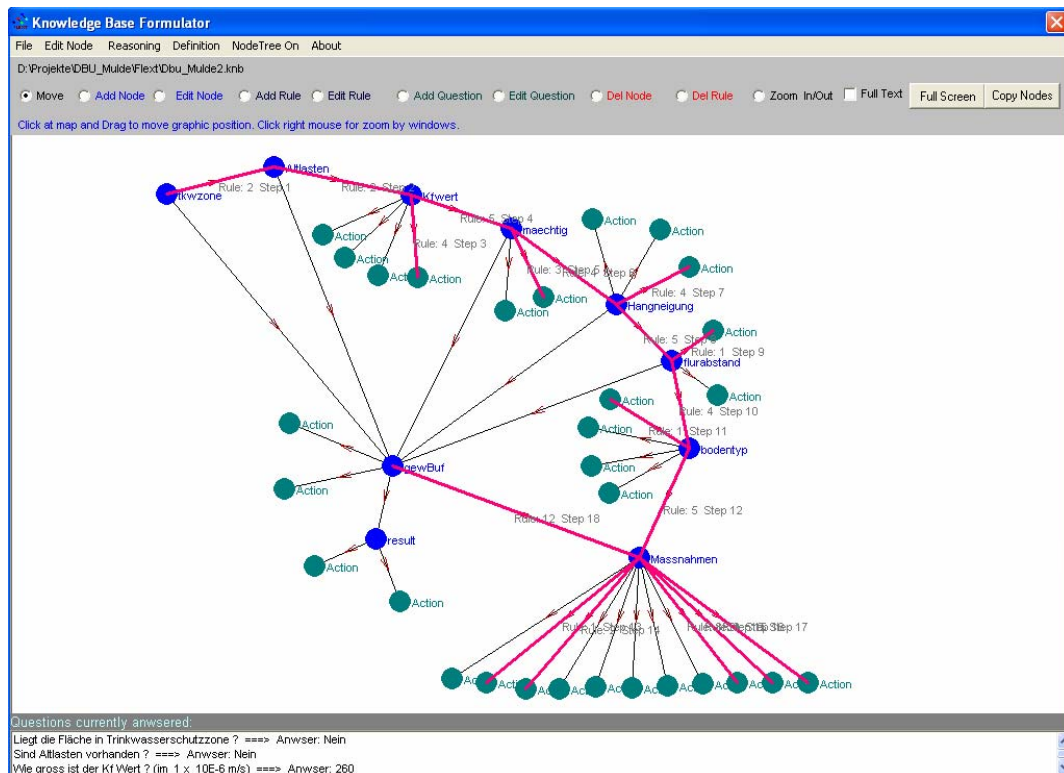


Abbildung 32: Prüfung des Entscheidungsprozesses an Beispielstandorten

In der zweiten Anwendungsphase wird in FLEXT die Verknüpfung zu einer Datenbank aufgebaut, in der möglichst viele für den Entscheidungsprozess notwendige Parameter für jeden Standort im Einzugsgebiet der Mulde zu finden sind (siehe Kapitel 5.1.4). Das Modell FLEXT bietet die Möglichkeit, mit unterschiedlichen Datenbankformaten zu interagieren und ist somit als eigenständige Software an keine bestimmte GIS-Software gebunden. Wichtig zu erwähnen ist, dass bei der Aufstellung der Entscheidungsregeln auch der Fall von Datenlücken oder gänzlich fehlende Informationen in der Datenbank berücksichtigt werden können. In diesen Fällen gibt FLEXT Hinweise oder sogenannte „weiche Kriterien“ aus, die eine Maßnahmen nicht ausschließen, jedoch den Nutzer auf gewisse Unwägbarkeiten für die betroffenen Standorte aufmerksam machen (siehe Kapitel 5.2.1). Die dritte Anwendungsphase ist der eigentliche Entscheidungsprozess und das Herausschreiben der Ergebnisse (in diesem Fall der möglichen Maßnahmen) in die Datenbank. Dies kann als Rechenlauf für alle Einträge der Datenbank (Einzelflächen) erfolgen oder für ausgewählte einzelne Standorte.

Abbildung 33 zeigt schematisiert, wie die Erstellung der Maßnahmenkarte realisiert wurde und welche Verknüpfungen es zwischen dem Geografischen Informationssystem (GIS) und FLEXT gibt.

Der Ausgangspunkt in dieser Methodik ist die Entscheidungsmatrix (Abbildung 33, IIb). Grafik IIa in Abbildung 33 symbolisiert die Software FLEXT.

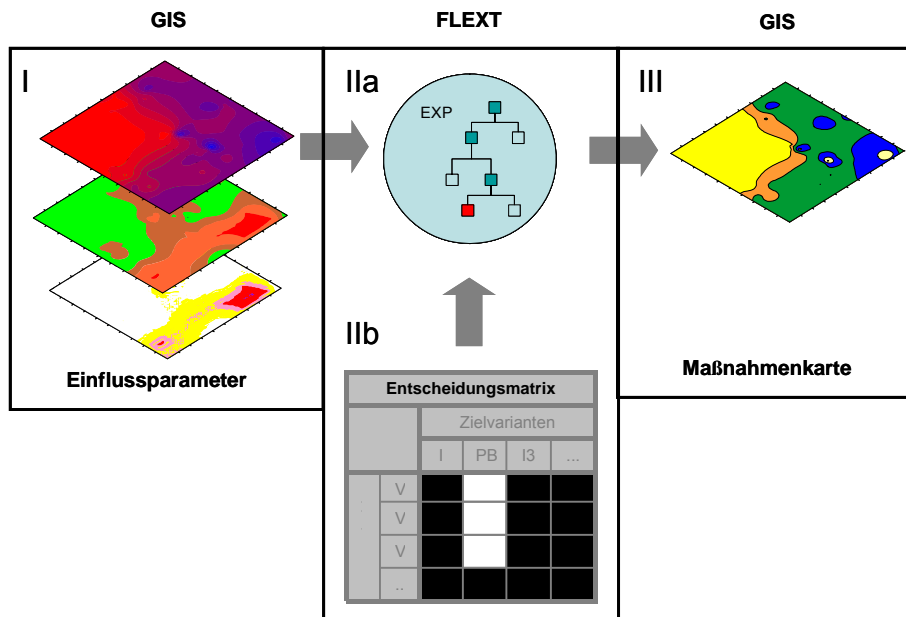


Abbildung 33: Struktur des Modells FLEXT

Die Software FLEXT hat sich in ihrer Konzeption, Funktionalität und nicht zuletzt in ihrer Leistungsfähigkeit als geeignetes Instrument erwiesen, das in der Lage ist, die gewählte Komplexität des Entscheidungsprozesses mit der in diesem Projekt gewählten räumlichen Auflösung auf das Einzugsgebiet zu übertragen. Die Berechnungszeiten erlauben es, die Sensitivität von Grenzwerten und Regeln bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet zu untersuchen, wobei betont werden muss, dass die Grenzwerte und Ausschlusskriterien der Entscheidungsmatrix Expertenwissen und Planungserfahrung widerspiegeln und nicht das Ergebnis von Kalibrierungsprozessen sind.

5.1.3 Entscheidungsmatrix

Aus den vorangegangenen Erläuterungen ist bereits deutlich geworden, dass der Entscheidungsmatrix in dieser Methodik zur Erstellung der Maßnahmenkarten eine zentrale Rolle zukommt. Das Format der Matrix ist keine Vorgabe des Modells FLEXT. Ursprünglich war vorgesehen, den Entscheidungsprozess in Form eines Entscheidungsbaumes darzustellen. Der Entscheidungsbaum entspricht mehr der klassischen Vorstellung eines Entscheidungsprozesses. In ihm werden nacheinander die Einflussparameter abgefragt und nach jeder Abfrage eine Teilentscheidung gefällt. Bei dem System der Matrix werden ebenfalls die Einflussparameter der betrachteten Flächen nacheinander abgefragt. Eine Entscheidung über die Empfehlung oder den Ausschluss einer Maßnahme wird aber erst abschließend, wenn dem Modell alle verfügbaren Parameter bekannt sind, gefällt. Der Vorteil dieser Methode ist, dass Kriterien formuliert werden können, die als Entscheidungsgrundlage eine Kombination von Einflussparametern verwenden. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Entscheidungsprozess mehr als eine Maßnahmenempfehlung zulässt. Dies ist insbesondere für

den Planungsprozess wichtig, weil je nach Prioritätensetzung und Akzeptanz von den Entscheidungsträgern vor Ort unterschiedliche Maßnahmen bevorzugt werden. Als Gemeinsamkeit der empfohlenen Maßnahmen ist die positive Wirkung auf den Hochwasserrückhalt hervorzuheben.

In der Matrix wird festgehalten, welche

- Maßnahmen in dem Entscheidungsprozess berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 4),
- Einflussparameter über die Empfehlung oder den Ausschluss einer Maßnahme entscheiden,
- Anforderungen oder Grenzwerte ein Standort erfüllen muss, damit es zu einer Empfehlung einer Maßnahme an dieser Stelle des Mulde-Einzugsgebietes kommt.

Das Ergebnis – die Maßnahmenkarte – ist durch den Aufbau der Entscheidungsmatrix theoretisch vorbestimmt. Ohne die Kopplung mit den GIS-Daten bleibt das Ergebnis jedoch unvorhersehbar, weil die Entscheidungsprozesse zu komplex und die Anzahl der betrachteten Einzelstandorte zu groß ist. Die Kopplung mit dem GIS und die Ausgabe des Ergebnisses im GIS sind daher unverzichtbar und rechtfertigen den hohen Aufwand. Es muss aber kritisch festgehalten werden, dass der Zeitaufwand für die GIS-Aufbereitung beträchtlich ist und nicht unterschätzt werden darf.

Für die praktische Bearbeitung ist weiterhin anzumerken, dass die Auswahl der Einflussparameter und die Festlegung der Grenzwerte und Standortparameter stark von der GIS-verfügbaren Datengrundlage beeinflusst wird. Der Aufbau der Entscheidungsmatrizen zum einen und die Aufbereitung, Klassifizierung und Zusammenführung der Flächendaten zum anderen musste somit parallel realisiert werden.

5.1.4 Datengrundlage für das Einzugsgebiet der Mulde

Neben der Qualität der Informationen in der Wissensdatenbank (Entscheidungsmatrix), sind die Art, Güte und Aktualität der Flächendaten die bestimmenden Einflussgrößen für die Aussagekraft der Maßnahmenkarten. Ziel der Datenzusammenstellung und -aufbereitung war es, möglichst viele, für den Entscheidungsprozess relevante Informationen dem Modell FLEXT bereitzustellen.

Wie bereits erläutert und in Abbildung 33 dargestellt, muss als zweite Eingabekomponente neben der Entscheidungsmatrix (Abbildung 33, IIb) eine Datenbank (Abbildung 33, I) erstellt werden, die die Standortinformationen der Einzelflächen im Mulde-Einzugsgebiet enthält. Diese Datenbank wurde durch Verschneidung verschiedener Flächendaten im GIS erzeugt.

Im Folgenden ist aufgeführt, welchen amtlichen GIS-Kartenwerken die Informationen zu den Einflussparametern entnommen wurden:

- Der Bodenkonzepkarte (Bkkonz50) wurden die Informationen zur Mächtigkeit des Lockergesteins, der Bodentyp, der Grundwasserflurabstand sowie die von der Bodenart abhängige hydraulische Leitfähigkeit entnommen. Quelle: LfUG, Freiberg

- Die Gewässernähe der Standorte wurde aus dem flächendeckend vorliegenden Gewässersystem der Mulde abgeleitet, dass alle Gewässer I. und II. Ordnung umfasst. Quelle: LfUG, Dresden.
- Die Hangneigung wurde aus dem Digitalen Geländemodell des ATKIS-Datensatzes abgeleitet. Quelle: Sächsisches Landesvermessungsamt, Dresden.
- Die Informationen zur bestehenden Landnutzung sind ebenfalls dem ATKIS-Datensatz entnommen worden. Quelle: Sächsisches Landesvermessungsamt, Dresden.
- Die Information zu den Trinkwasser-/ Heilquellen- und Talsperrenschutzzonen liegen flächendeckend für das Einzugsgebiet vor. Quelle: LfUG, Dresden.
- Für die verbesserte Beschreibung der Größe der landwirtschaftlich genutzten Bewirtschaftungseinheiten wurden die InVeKos-Daten hinzugezogen. Die Daten stammen aus dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem der Europäischen Union für die Landwirtschaft.

Die zuletzt genannten InVeKos-Daten stellen eine Ausnahme in der Datengrundlage dar. Die anderen Daten, sind allgemein verfügbar und erfüllen damit den Anspruch, dass die hier vorgestellte Methodik auf andere Einzugsgebiete in und außerhalb Sachsens angewendet werden kann. Ein weiterer Einflussfaktor, der für den Entscheidungsprozess wünschenswert wäre, ist die Information über Altlasten- bzw. Altlastenverdachtsflächen. Hierzu steht einzugsgebietsweit jedoch keine digitalisierte Information zur Verfügung.

Bei der Erstellung der Maßnahmenkarte für die landwirtschaftlichen Flächen spielen geogene Einflussfaktoren eine noch ausgeprägtere Rolle als beim Entscheidungsprozess für die Siedlungsflächen. Dies lässt sich damit begründen, dass die betrachteten Maßnahmen zum verstärkten Rückhalt auf landwirtschaftlichen Flächen die Infiltrations- und Speichereigenschaften des Bodens im Ist-Zustand nur sehr begrenzt beeinflussen können. Dies hat zur Folge, dass die Ergebnisse zur Analyse des Wasserrückhaltepotenzials (Kapitel 3.4) als Einflussfaktoren in den Entscheidungsprozess mit aufgenommen wurden. Bei der Erstellung der Maßnahmenkarte für die Siedlungsgebiete ist dies nicht notwendig, da technische Maßnahmen (Rigolen) die künstliche Schaffung von Speicherpotenzialen im Boden ermöglichen.

Die genannten Daten wurden im ArcView GIS (Version 3.1) aufbereitet. Nach der Aufbereitung der Daten erfolgte die Klassifikation der Einflussparameter entsprechend den Vorgaben aus den Entscheidungsmatrizen. Die Klassifikation der Einflussparameter ergibt sich aus den Festlegungen in den Entscheidungsmatrizen (vgl. Tabelle 8 und Tabelle 10). Abschließend wurden die klassifizierten Flächendaten des Mulde-Einzugsgebietes miteinander verschnitten, um je eine Datenbank für die Siedlungsgebiete und die landwirtschaftlichen Flächen zu generieren. Die Verschneidung führt zu einer sehr großen Anzahl von Einzelflächen, deren Darstellung und Handhabung im GIS zwar ohne weiteres möglich ist, deren Erstellung das ArcView GIS jedoch vor erhebliche Probleme gestellt hat. Aus diesem Grund wurde für diesen Arbeitsschritt auf das GIS Geomedia Professional zurückgegriffen.

Auf eine Komprimierung der Datenbank durch räumliche Aggregation oder gröbere Klassifizierung von Merkmalen konnte verzichtet werden, weil das Modell FLEXT mit seiner sehr leistungsfähigen Schnittstelle zum GIS eine Einzelbetrachtung aller Standorte ermöglicht. Diese gilt auch, wenn es sich um sehr große Einzugsgebiete mit vielen Einflussparametern handelt. Der geringe Rechenaufwand eröffnet die Möglichkeit die Sensitivitäten veränderter Entscheidungsregeln zu untersuchen.

5.2 Maßnahmenkarten für den Siedlungsbereich

Die Bewertung der urbanen Flächen hat zum Ziel, die Eignung verschiedener Regenwasserbewirtschaftungsformen für die bestehenden Siedlungsflächen des Einzugsgebietes zu prüfen.

5.2.1 Entscheidungsmatrix für die Siedlungsgebiete

Für den Entscheidungsprozess wurden Informationen zur hydraulischen Leistungsfähigkeit, zur Mächtigkeit des Lockergesteins, zum Bodentyp, zum Flurabstand, zur Hangneigung, zur Lage der Gewässer, zur Wasserschutzzonen und zur aktuellen Art der Bebauung/Nutzung der Siedlungsflächen als Einflussfaktoren verwendet (siehe Kapitel 5.1.4). Im Vordergrund der Maßnahmenauswahl stehen Mulden-Rigolen-Elemente, die mit ihrer Speicher- und Versickerungskapazität einen Hochwasserrückhalt bereitstellen, der bei der direkten Ableitung in Kanäle oder ins Gewässer nicht existiert.

Für den Bereich der Siedlungswasserwirtschaft kann auf einen bereits bestehenden „Entscheidungsbaum“ aufgebaut werden, der in Zusammenarbeit mit der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH entwickelt wurde und bereits erfolgreich auf das Stadtgebiet Chemnitz und andere urbane Gebiete angewendet wurde.

Tabelle 8: Entscheidungsmatrix für die Siedlungsflächen

		Maßnahmen					
		Flächenversickerung	Muldenversickerung	Versickerung mit unterirdischer Speicherung	Versickerung mit Ableitung	Versickerung mit Ableitung und Stauwasserbewirtschaftung	Ableitung ins Gewässer
Einflussfaktoren	Trinkwasserschutzzone	Nein, Zone III	Nein, Zone III	Nein, Zone III	Nein, Zone III	Nein, Zone III	ohne Einfluss
	Gewässernähe	ohne Einfluss	ohne Einfluss	ohne Einfluss	ohne Einfluss	ohne Einfluss	Ja
	Flurabstand	>= 13 dm	>= 13 dm	>= 23 dm	>= 23 dm	10 – 23 dm	ohne Einfluss
	Bodenmächtigkeit	>= 5 dm	>= 5 dm	>= 13 dm	>= 13 dm	>= 13 dm	ohne Einfluss
	Bodentyp	kein Staunässe- und Grundwasserböden	kein Staunässe- und Grundwasserböden	kein Staunässe- und Grundwasserböden	kein Staunässe- und Grundwasserböden	kein Grundwasserböden	ohne Einfluss
	hydraul. Leitfähigkeit (kf)	>= 100 mm/h	>= 19 mm/h	>= 5 mm/h	ohne Einfluss	ohne Einfluss	ohne Einfluss
	Hangneigung	< 15%	< 15%	< 15%	< 15%	< 15%	ohne Einfluss
Landnutzung	gering verschmutzte Flächen	gering verschmutzte Flächen	gering verschmutzte Flächen	gering verschmutzte Flächen	gering verschmutzte Flächen	gering verschmutzte Flächen	

In Tabelle 8 ist die Entscheidungsmatrix dargestellt, die für die Siedlungsflächen im Mulde-Einzugsgebiet verwendet wurde. Insgesamt wurden acht Einflussparameter festgelegt, um entscheiden zu können, welche Art oder welche Arten der Regenwasserbewirtschaftung auf den verschiedenen Siedlungsstandorten technisch und gestalterisch möglich sind. Die in Tabelle 8 aufgeführten Werte stellen Konditionen dar, die erfüllt werden müssen. Eine Maßnahme passiert nur dann positiv den Entscheidungsprozess, wenn der Standort die Bedingungen der weißen Felder einhalten kann. Dagegen bedeutet eine Standorteigenschaft, die außerhalb des angegebenen Wertebereichs liegt, den Ausschluss der Maßnahme für diese Fläche, auch wenn alle anderen Konditionen erfüllt werden. Die grau hinterlegten Felder markierten die Einflussfaktoren, die für die konkrete Maßnahme kein Kriterium darstellen.

Die betrachteten Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung sind die Flächenversickerung, Muldenversickerung, Versickerung mit unterirdischer Speicherung, Versickerung mit Ableitung, Versickerung mit Ableitung und Grundwasserbewirtschaftung, Ableitung ins Gewässer und konventionelle Abteilung im Kanalnetz. Die beiden letztgenannten Maßnahmen sind als Hinweise für den Planungsprozess zu verstehen, da sie keinen positiven, sondern einen negativen Einfluss auf das Hochwassergeschehen haben. In den Szenarien werden Siedlungsflächen, für die nur die Ableitung ins Gewässer und/oder konventionelle Abteilung im Kanalnetz vorgeschlagen werden, als Bereich ohne Handlungspotenzial bezeichnet (siehe Kapitel 6).

In Bezug auf ihre Wirkung für den vorbeugenden Hochwasserschutz sind die Flächenversickerung, die Muldenversickerung und Versickerung mit unterirdischer Speicherung als gleich wichtig einzu-

stufen, weil sie kein Niederschlagswasser über Kanäle an das Gewässernetz abgeben. Die Bewirtschaftungsformen mit Ableitung sind nichtsdestotrotz ein Gewinn für den Hochwasserschutz, weil auch in diesen Anlagen ein Teil des Niederschlagswassers gespeichert und zur Versickerung gebracht wird. Eine ausführliche Darstellung der Wirkung der Regenwasserbewirtschaftung auf den Hochwasserabfluss ist Teil der Maßnahmensteckbriefe (siehe Anhang).

Ein weiterer Teil der Entscheidungsmatrix sind Grenzwerte oder andere Standortanforderungen, die nicht zur Empfehlung oder zum Ausschluss einer Maßnahme führen, sondern FLEXT dazu veranlassen für den betrachteten Standort neben dem Ergebnis auch noch eine weiterführende Anmerkung in Datenbank zu schreiben. Diese Möglichkeit wurde in FLEXT implementiert,

- um besser auf unzureichende Standortinformation (Datenlücken) reagieren zu können und
- um zusätzliche, standortspezifischen Handlungsempfehlungen geben zu können, die über die maßnahmenspezifischen Empfehlungen hinausgehen.

In Tabelle 9 ist aufgeführt, welche Zusatzinformationen bestimmten Siedlungsflächen gegeben wurden.

Tabelle 9: Zusatzinformationen zum Entscheidungsprozess

Einflussfaktor	Angabe in der GIS-Datenbank	Anmerkung
Trinkwasserschutzzone	Zone III	Die Fläche liegt in der Trinkwasserschutzzone III
Gewässernähe	Bis 80 m	Prüfung vor Ort, ob Ableitung in das Gewässer möglich
Flurabstand	Keine Daten	Flurabstand prüfen
Bodenmächtigkeit	Keine Daten	Mächtigkeit des Lockergesteins prüfen
Bodentyp	Siedlungsböden (keine Daten)	Prüfung der Bodenverhältnisse vor Ort notwendig
Bodentyp	Sd-Verdacht	Verdacht auf Stauwasser
Bodentyp	Bodenwasserhinweis	Ggf. Stauwasser
Hangneigung	5 % - 10 %	Hohe Baukosten
Hangneigung	10 % - 15 %	Sehr hohe Baukosten
Landnutzung	Industrie, Verkehrsflächen	Verschmutzungsgrad der Fläche beachten
Landnutzung	Ortslage	Art der Bebauung prüfen

Für die Siedlungsflächen ist die Option der sogenannten „weichen“ Kriterien sehr wichtig, weil insbesondere unter Siedlungsflächen die Bodendaten große Informationslücken aufweisen. Der Ursprung dieser Datenmängel ist begründbar mit der Herkunft der Bodenkonzeptkarte, die die Kombination aus Waldbodenkarte und Mittelmaßstäbiger Landwirtschaftlicher Standortkartierung ist. Diese Datenlücke konnte im begrenzten Umfang durch die Verbindung der Bodenkonzeptkarte (M 1 : 25 000) mit der Bodenübersichtskarte (M 1 : 200 000) reduziert werden. Bezogen auf die Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung in den Siedlungsgebieten muss aber darauf hingewiesen werden, dass die fehlende oder lückenhafte Bodeninformation die Aussagekraft der Maßnahmenkarte nicht in dem Maße einschränkt, wie dies für die Maßnahmen im Bereich der Landwirtschaft gelten würde. Die Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung sind technische Bauwerke, die in der konkreten Umsetzung eine Reihe von Möglichkeiten bieten, sich den gegebenen Standortbedingungen flexibel anzupassen, ohne dass es dabei zu Einschränkungen der Funktionsfähigkeit kommt.

5.2.2 Ergebnisse für die Siedlungsgebiete

In Abbildung 34 ist das Ergebnis des oben beschriebenen Entscheidungsprozesses für die Siedlungsflächen dargestellt. Die Siedlungsflächen im Einzugsgebiet der Mulde umfassen 617 km², was einem Flächenanteil von ca. 10 % entspricht.

Insgesamt führte die Verschneidung der Flächendaten zu einer Datenbank mit rund 213.000 Datensätzen. Jeder Datensatz repräsentiert eine Siedlungsfläche im Muldegebiet, für die im FLEXT-Modell basierend auf der Entscheidungsmatrix ein Entscheidungsprozess durchgeführt wurde und Maßnahmenempfehlungen sowie Anmerkungen ausgegeben wurden.

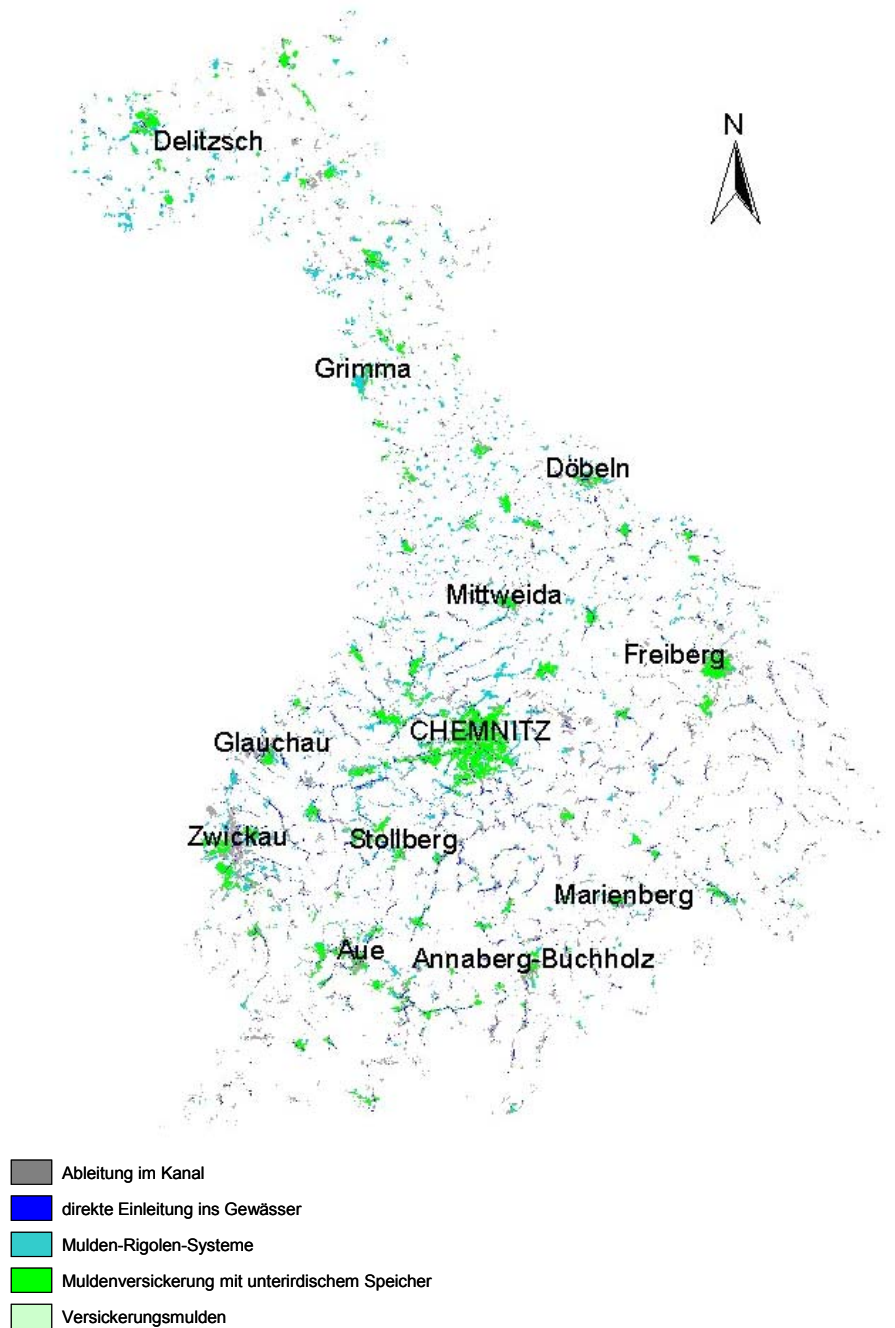


Abbildung 34: Maßnahmenkarte für die Siedlungsflächen

Wendet man die Entscheidungsmatrix für einen Beispielstandort an, so ergeben sich ggf. mehrere mögliche Maßnahmen. Die Festlegung auf eine der möglichen Maßnahmen orientiert sich an ökonomischen Gesichtspunkten. D. h. es wird die kostengünstigste Variante favorisiert. Diese Auswahl der „besten“ Regenwasserbewirtschaftungsart wurde im Nachgang zum Entscheidungsprozess durchgeführt. Für einen Detailausschnitt nordöstlich der Stadt Chemnitz ist in Abbildung 35 das Bewertungsergebnis der Siedlungsflächen dargestellt.

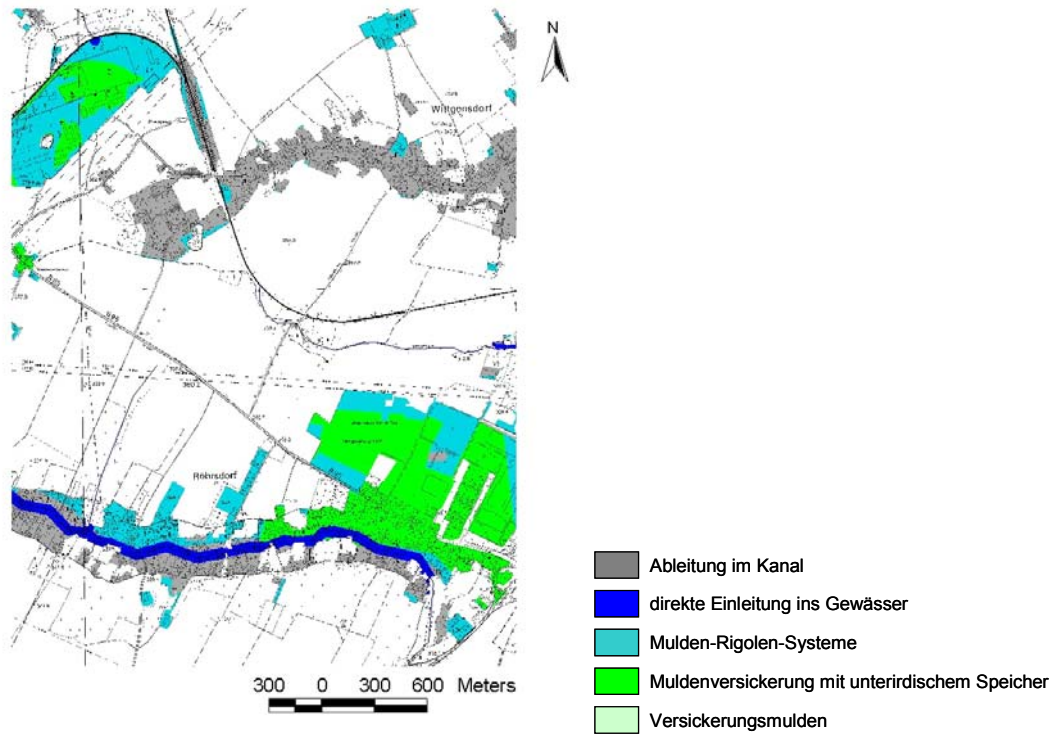


Abbildung 35: Maßnahmenkarte für die Siedlungsflächen – Ausschnitt nordöstlich der Stadt Chemnitz

Abbildung 36 zeigt die relative Verteilung aller anwendbaren Bewirtschaftungsarten, summiert über die gesamten Siedlungsflächen des Einzugsgebietes. Es zeigt sich, dass die hier im Hinblick auf die hochwassermindernde Wirkung besonders interessierenden unvernetzten Formen der Bewirtschaftung – die Muldenversickerung und die unvernetzten Mulden-Rigolen-Elemente – mit insgesamt 29 % einen großen Teil der Siedlungsflächen betreffen.

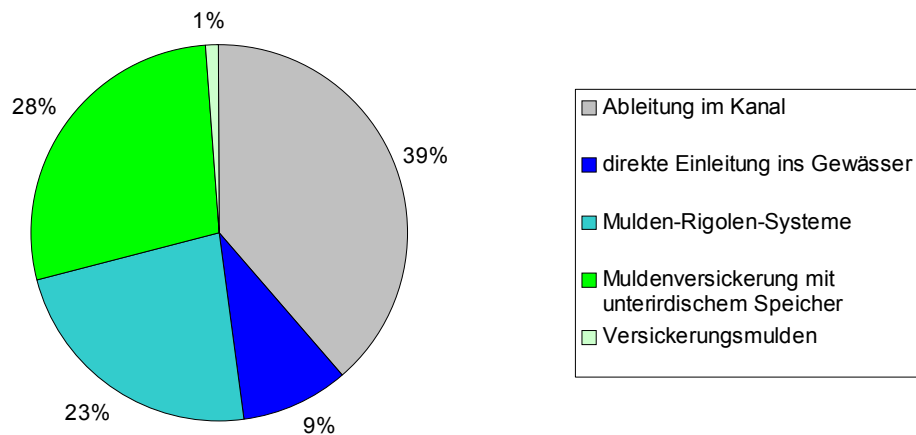


Abbildung 36: Prozentuale Verteilung der anwendbaren Bewirtschaftungsverfahren

5.3 Maßnahmenkarten für landwirtschaftliche Flächen

5.3.1 Entscheidungsmatrix für die landwirtschaftlichen Flächen

In Tabelle 10 ist die Entscheidungsmatrix für die landwirtschaftlichen Flächen dargestellt. Die landwirtschaftliche Fläche ist in diesem Kontext definiert als Ackerland, Grünland, Gartenland oder Sonderkulturen, die in ihrer Summe 61 % des Mulde Einzugsgebiets umfassen. Davon sind 70 % Ackerflächen und nur 1 % Sonderkulturen oder Gartenland. Die Dominanz der Ackerflächen unterstreicht die Notwendigkeit, Maßnahmen in den Entscheidungsprozess mit aufzunehmen, die insbesondere bei ackerbaulicher Landnutzung angewendet werden können. Im Entscheidungsprozess wurden Maßnahmen zur veränderten Bodenbearbeitung, zur Änderung der Landnutzung und zur Flurgestaltung bewertet. Neun der insgesamt 15 betrachteten Maßnahmen beziehen sich ausschließlich auf Flächen, die zurzeit für den Ackerbau genutzt werden. Die anderen sechs Maßnahmen können auch auf Grünlandflächen umgesetzt werden. Eine genaue Charakterisierung der Maßnahmen erfolgte in Kapitel 4.2 sowie im Anhang.

Tabelle 10: Entscheidungsmatrix für die landwirtschaftlichen Flächen

		Einflussfaktoren						
		Art der Landw. Nutzung	Hangneigung	potenzielles Wasserspeicherpotenzial im Boden	dominanter Abflussprozess im natürlichen Zustand	Flurabstand	Gewässernähe	Größe der Ackerschläge
A: Maßnahmen der Bodenbearbeitung und Bestellverfahren								
A1	Konservierende Bodenbearbeitung	Acker	kein Einfluss	mittel bis hoch	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant
A2	Direktsaatverfahren	Acker	kein Einfluss	mittel bis hoch	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant
A3	Konturnutzung (höhenlinienparallel)	Acker	>3°	mittel bis hoch	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant
B: Maßnahmen zur Nutzungsänderung								
B1	Aufforstung	alle Flächen	kein Einfluss	mittel bis hoch	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant
B2	Umwandlung von Acker in Grünland	Acker	kein Einfluss	mittel bis hoch	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant
B3	Flächenstilllegung (Brache)	alle Flächen	kein Einfluss	nicht relevant	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant
C: Maßnahmen zur Flurgestaltung								
C1	Schlagverkleinerung	Acker	>3°	nicht relevant	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	>20
C2	Schlaguntergliederung durch Grünstreifen	Acker	<7°	nicht relevant	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	>20
C3	Schlaguntergliederung durch Gras-/Krautstreifen	Acker	<7°	nicht relevant	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	>20

		Einflussfaktoren						
		Art der Landw. Nutzung	Hangneigung	potenzielles Wasserspeicherpotenzial im Boden	dominanter Abflussprozess im natürlichen Zustand	Flurabstand	Gewässernähe	Größe der Ackerschläge
C4	Anlage von Gras-/Krautsäumen	alle Flächen	kein Einfluss	nicht relevant	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant
C5	Anlage von Gewässerrandstreifen	Acker	kein Einfluss	nicht relevant	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	Gewässernah	nicht relevant
C6	Schlaguntergliederung durch Hecken	alle Flächen	>3°	nicht relevant	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	>20
C7	Anlage von Feldgehölzen	alle Flächen	kein Einfluss	mittel bis hoch	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant
C8	Begrünung von Abflussbahnen	Acker	>7°	mittel bis hoch	Oberflächen-, langsamer Zwischenabfluss	groß	nicht relevant	nicht relevant
C9	Anlage von Abflussmulden	alle Flächen	>3°	gering	alle Abflussprozesse	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant

Insgesamt wurden sieben Einflussparameter festgelegt, um entscheiden zu können, welche potenziellen Maßnahmen standortbezogen möglich sind und aus Sicht des vorbeugenden Hochwasserschutzes einen positiven Einfluss haben. Als Einflussfaktoren wurden die aktuelle Art der landwirtschaftlichen Nutzung, die Hangneigung, das Wasserspeicherpotenzial im Boden und der dominante Abflussprozess im natürlichen Zustand (Potenzialkarte) sowie der Flurabstand, die Nähe zum Gewässer und die Größe der Ackerschläge berücksichtigt.

Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, wird der Entscheidungsprozess für landwirtschaftliche Flächen von zwei zusätzlichen Parametern beeinflusst, die sich auf das Speicher- und Abflussbildungs- bzw. Abflusskonzentrationsverhalten der Böden beziehen. Diese Einflussparameter sind keine allgemein verfügbaren „Rohdaten“, sondern das Ergebnis der Methodik zur Erstellung der Wasserspeicherpotenzialkarte (Senkenpotenzialkarte; siehe Kapitel 3.4). Die Entscheidungsmatrix der Siedlungsflächen kann auf diese „Spezialdaten“ verzichten, weil das Bodenspeicherpotenzial bei Bedarf beispielsweise in Form von Rigolen künstlich geschaffen werden kann.

Über landwirtschaftliche Maßnahmen mit „künstlichen“ Bodenspeichern oder technische Maßnahmen, die den Bodenspeicher gezielt erweitern, wurde im Projekt diskutiert. Weil jedoch keine Erfahrungen zu diesen Maßnahmen vorliegen, wurde auf eine Aufnahme in den Maßnahmenkatalog bisher verzichtet.

5.3.2 Ergebnisse für die landwirtschaftlich genutzten Flächen

Insgesamt wurden im Rahmen des Entscheidungsprozesses rund 3 761 km² landwirtschaftlich genutzte Fläche bewertet. Die Verschneidung der Flächendaten führte zu einer Datenbank mit rund 580 000 Datensätzen. Jeder Datensatz repräsentiert einen Teil einer landwirtschaftlich genutzten Fläche, der sich in bezug auf eine der genannten Einflussgrößen von den Nachbarflächen unterscheidet. Für diese Flächen wurden mit dem FLEXT-Modell basierend auf der Entscheidungsmatrix ein Entscheidungsprozess durchgeführt und Maßnahmenempfehlungen ausgegeben.

Im Rahmen des Entscheidungsprozesses werden eine Reihe von Maßnahmen vorgeschlagen und teilweise relativ wenige Maßnahmen ausgeschlossen. Im Gegensatz zu dem Ergebnis für die Siedlungsflächen kann unter den vorgeschlagenen landwirtschaftlichen Maßnahmen keine „beste“ Maßnahme im Nachgang herausgefiltert werden, weil dies zu sehr von lokalen Standorteigenschaften abhängt, die in der Datenbank nicht erfasst werden.

Die Maßnahmenkarte wurde daher aufgeteilt in eine Serie von sogenannten **Fachplanerkarten**. Die Fachplanerkarten beinhalten die Information des Umsetzungspotentials einer der 15 betrachteten Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes unabhängig von konkurrierenden Nutzungen. Die Karten sollen dem Fachplaner Auskunft erteilen, ob und welche Maßnahmen in seinem Projektgebiet sinnvoll sind. Die Fachplanerkarten dürfen nicht gleichgesetzt werden mit realen Umsetzungsszenarien. Vielmehr stellen sie Maßnahmenpotenziale dar und dienen als Einstieg in die Erstellung möglicher, fachlich begründeter Szenarien und zeigen die Grenzen der Maßnahmen des Maßnahmenkataloges auf.

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse des Entscheidungsprozesses für die landwirtschaftlichen Flächen dargestellt. Exemplarisch für die 15 untersuchten Maßnahmen erfolgt hier die grafische Darstellung für

- die konservierende Bodenbearbeitung (Maßnahme A1)
- die Konturnutzung – höhenlinienparallel (Maßnahme A2)
- die Schlagsgliederung durch Grünstreifen oder Gras- und Krautstreifen (Maßnahmen C2 und C3)
- sowie die Anlage von dezentralen Abflusmulden (Maßnahme C9).

Die Übersichtskarte (Abbildung 37) zeigt, dass von den rund 5 800 km² betrachteter Einzugsgebietsfläche ca. 40 % ackerbaulich genutzt werden (ca. 2 300 km²) und hiervon wiederum 75 % (ca. 1 800 km²) für eine konservierende Bodenbearbeitung (Maßnahme A1) geeignet sind und gleichzeitig zu erwarten ist, dass diese Maßnahme auf den ausgewiesenen Standorten positive (Neben-)

Effekte für den Hochwasserschutz mit sich bringt, weil entsprechend der Standortinformationen ein großer Teil des zusätzlich infiltrierten Niederschlagswassers im Boden zwischengespeichert werden kann.

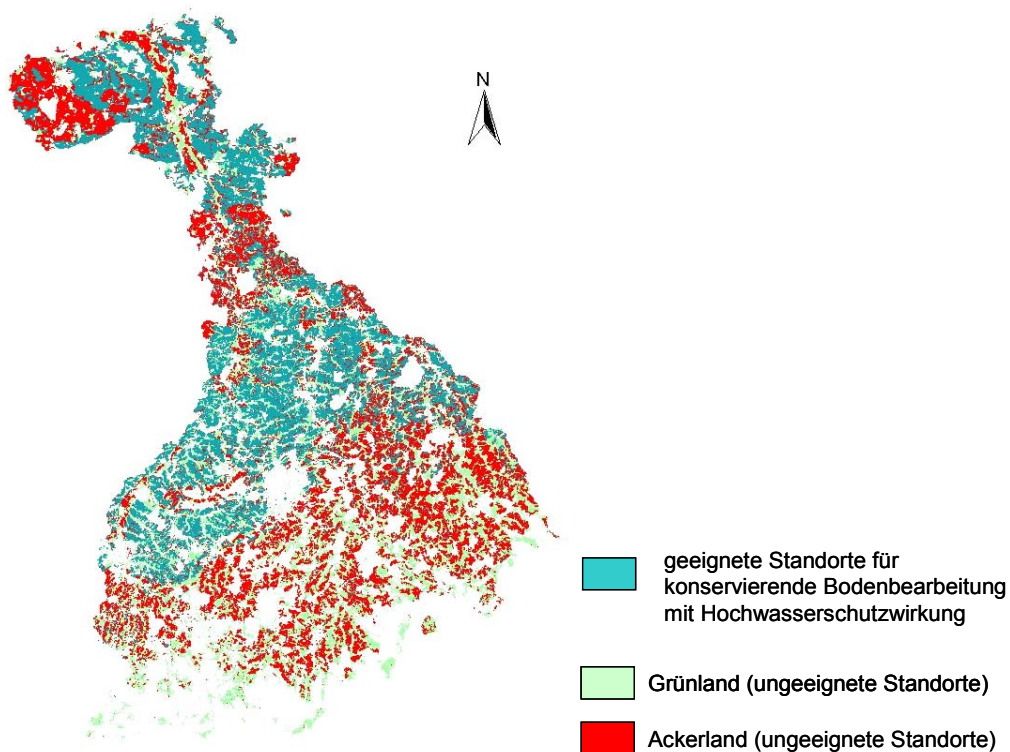


Abbildung 37: Fachplanerkarte für die konservierende Bodenbearbeitung

Die Maßnahmen zur Schlaggliederung (Maßnahmen C2 und C3) haben unabhängig vom potenziellen Wasserspeicherpotenzial im Boden einen positiven Einfluss auf dem Hochwasserrückhalt. Aus diesem Grund ist ihre Umsetzung auf noch mehr Ackerflächen des Einzugsgebietes zu empfehlen als die konservierende Bodenbearbeitung. Das Expertensystem weist ca. 2 000 km² (53 % der bewerteten landwirtschaftlichen Flächen oder 76 % der bewerteten Ackerflächen) aus, auf denen durch Schlaggliederung ein positiver Effekt für den vorbeugenden Hochwasserschutz erreicht werden könnte (vgl. Abbildung 38).

Die Konturnutzung kann ihre Vorteile insbesondere auf stärker geneigten Standorten entfalten. Gleichzeitig müssen diese Flächen ein ausreichendes Bodenspeicherpotenzial ausweisen. Diese Kombination von Eigenschaften ist im Einzugsgebiet in nur sehr begrenztem Umfang zu finden. Das Umsetzungspotenzial beschränkt sich auf 280 km² bzw. 7 % der bewerteten landwirtschaftlichen Flächen oder 11 % der bewerteten Ackerflächen (Abbildung 39). Anzumerken ist hierbei, dass die Konturnutzung (höhenlinienparallele Bearbeitung) durch die Landwirtschaft nur selten umgesetzt wird, weil sie mit großen bewirtschaftungstechnischen Schwierigkeiten verbunden ist.

Die letzte der beispielhaft dargestellten Maßnahmen ist die oberirdische Speicherung von Niederschlagswasser in dezentralen Speichern oder Mulden (Abbildung 40). Diese Form des Hochwasserrückhalts ist als Alternativlösung für die Standorte zu sehen, auf denen das Konzept der Speicherung im Boden aufgrund der Standorteigenschaften versagt. Der Entscheidungsmatrix kann entnommen werden, dass diese Maßnahme auf all den Standorten empfohlen wird, wo die vierzehn zuvor charakterisierten Maßnahmen nicht zur Anwendung kommen können. Der entscheidende Einflussparameter in diesem Zusammenhang ist der dominante Abflussprozess im natürlichen Zustand. Auf Standorten, die von schnellen Abflussprozessen im Boden und an der Oberfläche geprägt sind, kann nur durch oberirdische Speicherung ein Rückhalt in der Fläche erzielt werden. Insbesondere in den Einzugsgebieten der Oberläufe der Mulden sind die Standorte zu finden, auf denen auf diese Form des Rückhalts in der Fläche empfohlen werden kann. Rund 1.500 km² potenziell geeignete Flächen (40 % der bewerteten landwirtschaftlichen Flächen) hat das Expertensystem für diese Maßnahme identifiziert.

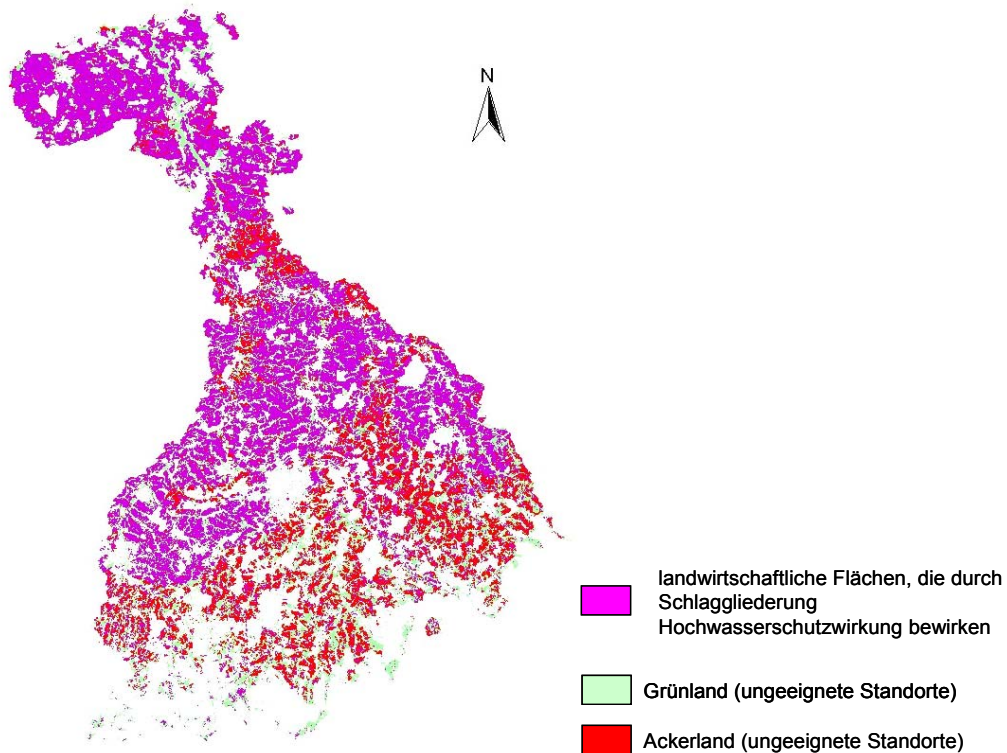


Abbildung 38: Fachplanerkarte für Maßnahmen zur Schlaggliederung

Für einen Detailausschnitt nordöstlich der Stadt Chemnitz sind in den folgenden Abbildungen (Abbildung 41 - Abbildung 44) die Bewertungsergebnisse der landwirtschaftlichen Flächen noch einmal im größerem Maßstab dargestellt.

Der Detailausschnitt verdeutlicht die räumliche Auflösung der Maßnahmenkarte. Die rot und hellgrün dargestellten Flächen markieren Ackerflächen bzw. Grünland, die aus der Sicht des vorbeu-

genden Hochwasserschutzes nicht für die jeweilige Maßnahme geeignet sind. Andersfarbig sind die jeweiligen potenziellen Umsetzungsstandorte dargestellt. Die weißen Bereiche sind im Ist-Zustand durch andere Landnutzungen wie Wald oder Siedlungen gekennzeichnet. Alle weiteren Fachplanerkarten für die übrigen betrachteten Maßnahmen sind in digitaler Form in der Datenbank der landwirtschaftlichen Flächen abgelegt.

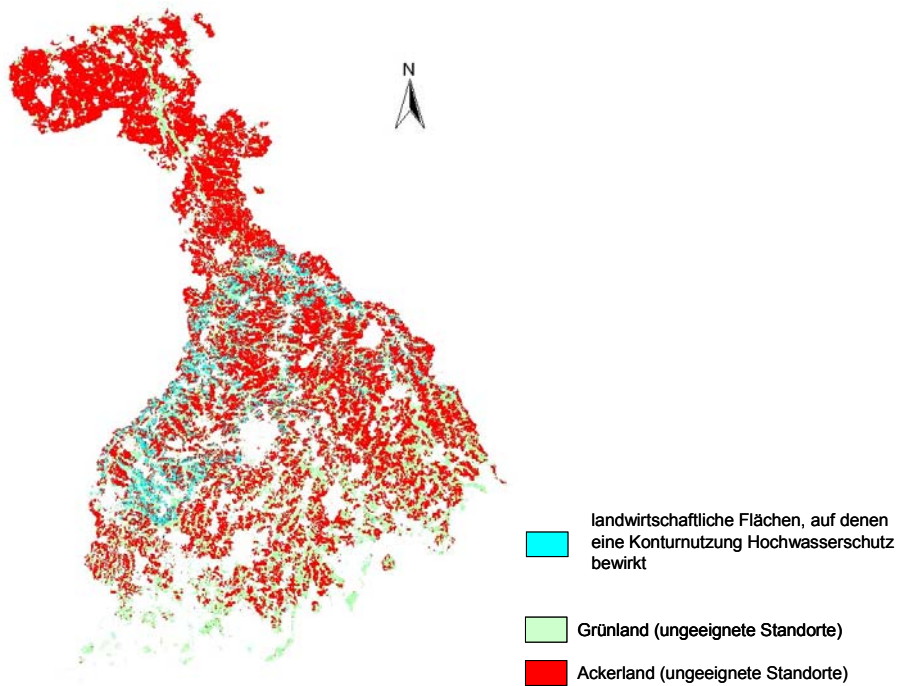


Abbildung 39: Fachplanerkarten zur Einführung der Konturnutzung

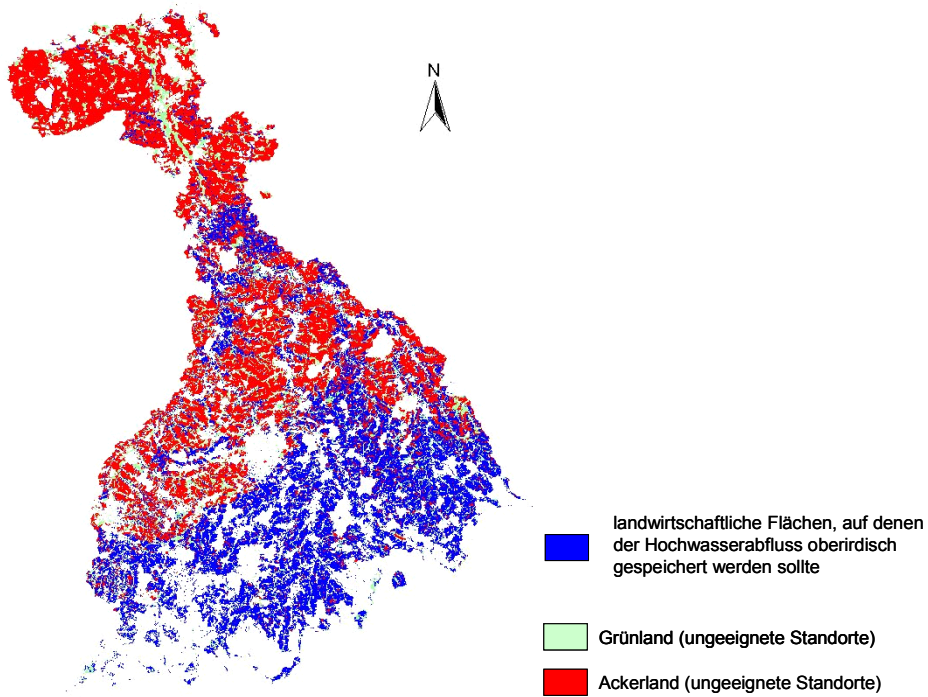


Abbildung 40: Fachplanerkarte für Maßnahmen zur oberirdischen Speicherung

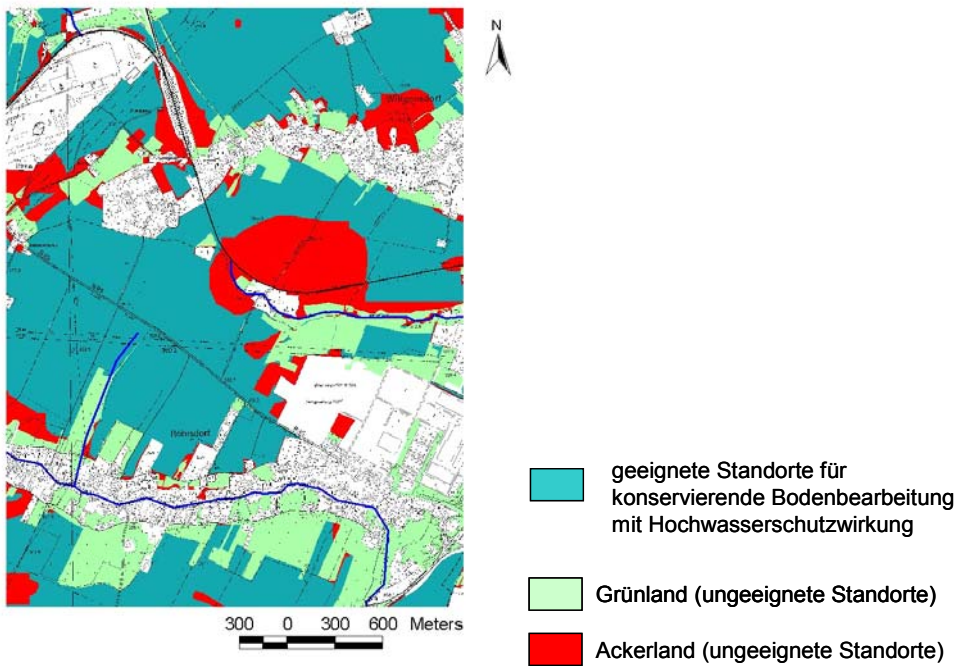


Abbildung 41: Detailausschnitt aus der Fachplanerkarte für die konservierende Bodenbearbeitung

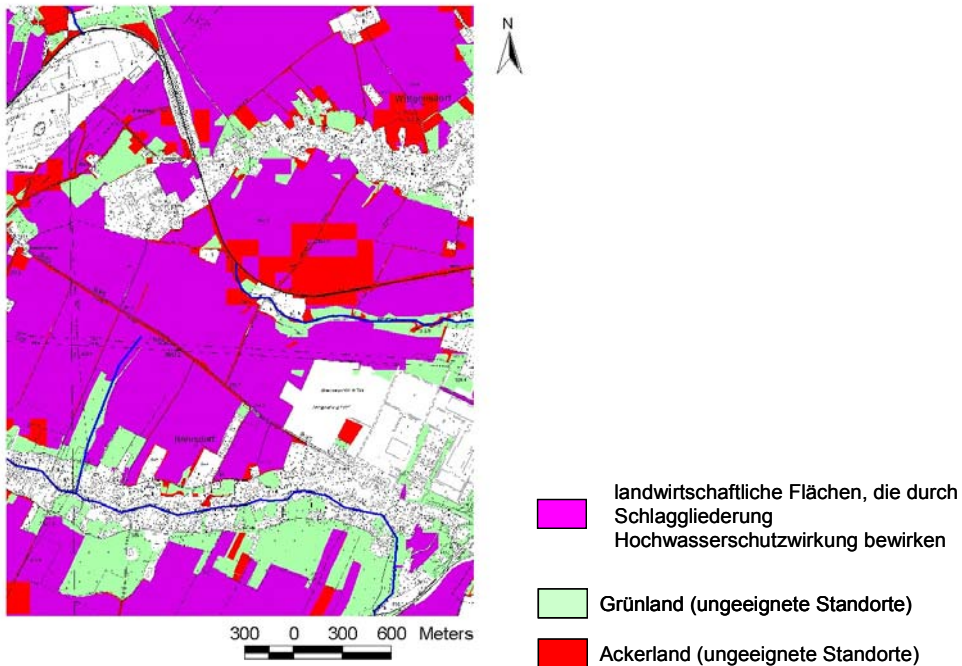


Abbildung 42: Detailausschnitt aus der Fachplanerkarte für Maßnahmen zur Schlaggliederung

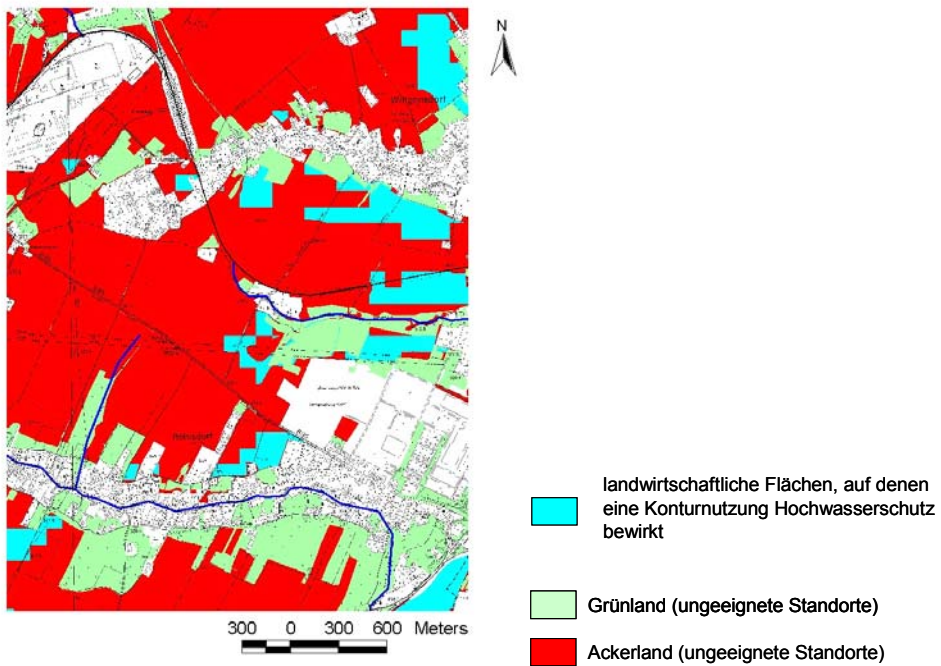


Abbildung 43: Detailausschnitt aus der Fachplanerkarte zur Einführung der Konturnutzung

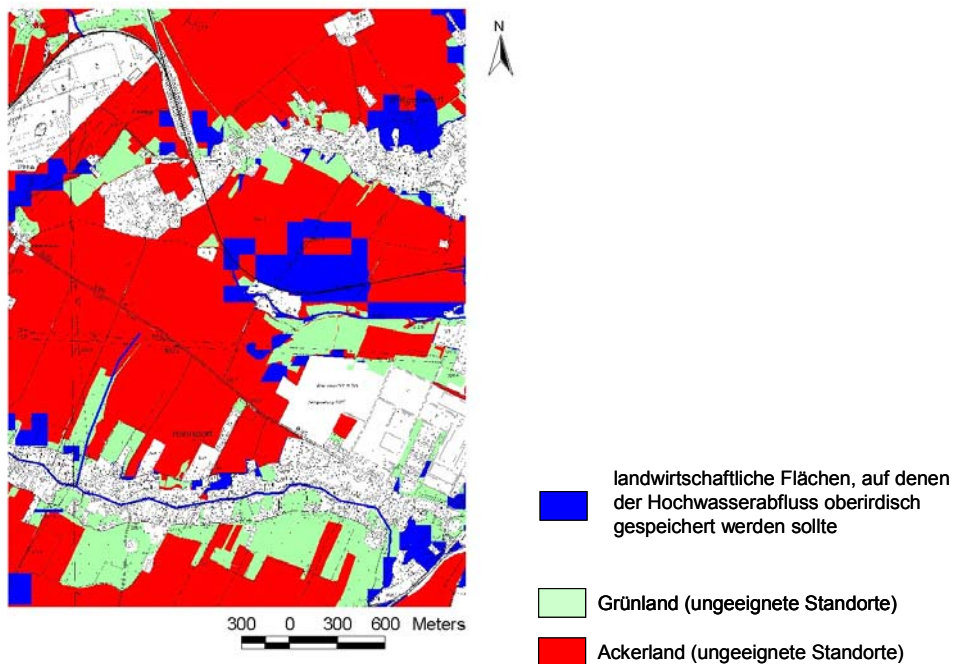


Abbildung 44: Detailausschnitt aus der Fachplanerkarte für Maßnahmen zur oberirdischen Speicherung

5.4 Diskussion der Maßnahmenkarten

Die vorgestellte Erarbeitung der Maßnahmenkarten/Fachplanerkarten zeigt auf, welcher räumliche Betrachtungsmaßstab auf regionaler Ebene (Einzugsgebietsebene) realisiert wurde, welche Einflussparameter in den Entscheidungsprozess einfließen konnten und welchen Einfluss die gewählten Grenzwerte auf die Verortung der Maßnahmen im Einzugsgebiet der Mulde haben.

Mit Blick auf die Handlungsempfehlungen schließt sich die Erstellung der Maßnahmenkarten in ihrer methodischen Notwendigkeit unmittelbar an die Ermittlung des Wasserrückhaltepotenzials an. Nachdem die Wasserrückhaltepotenziale des Einzugsgebietes quantifiziert und qualifiziert bewertet wurde, kann mit dem Expertensystem die Frage beantwortet werden, welche Maßnahmen dazu geeignet sind, die Wasserrückhaltepotenziale der Landschaft zu erschließen und in welchen Bereichen des Einzugsgebietes die geeigneten Umsetzungsstandorte liegen.

Die Erstellung der Maßnahmenkarte für die Siedlungsflächen liefert belastbare, standortangepasste Aussagen zur Art der Regenwasserbewirtschaftung versiegelter und unversiegelter urbaner Flächen. Die Genauigkeit der Aussagen ist, insbesondere vor dem Hintergrund des Betrachtungsmaßstabs, sehr hoch. Eine weitere Verbesserung der Aussagequalität könnte in erster Linie durch eine Nachverdichtung der einzugsgebietweiten Dokumentation der Einflussparameter erreicht werden. Hierbei sind insbesondere die Dokumentation von flächenhaften Altlastenstandorten und eine de-

tailliertere Dokumentation der Baustruktur als wünschenswert, jedoch nicht als zwingend notwendig zu nennen.

Im Folgenden sollen die Aspekte genannt werden, aus denen sich ggf. weiterer Handlungs- und Forschungsbedarf ergibt:

- Mehrfach wurde darauf hingewiesen, dass der Entscheidungsprozess für landwirtschaftliche Standorte eine Reihe von Maßnahmen auslöst und teilweise relativ wenige Maßnahmen ausgeschlossen werden. Ein Grund hierfür ist sicherlich in der Tatsache zu suchen, dass die einzugsgebietsweite, digitale Dokumentation der Standorteigenschaften nicht vollständig ist. Während die in der Entscheidungsmatrix genannten Einflussparameter zu den Bodenverhältnissen, zur Landnutzung, zur Hangneigung sowie zur Gewässernähe flächendeckend und in zufriedenstellender Qualität vorliegen, ist die Dokumentation der aktuellen Bewirtschaftungsform, die Schlagaufteilung der Feldblöcke, die Anbaufrüchte und Fruchtfolgen sowie die Ausstattung der Landwirtschaftsflächen mit flurgestaltenden Elementen nicht dokumentiert.
- Es wurde versucht, diesen Informationsmangel auszugleichen, indem die verwendeten Landnutzungsdaten (DLM-ATKIS) mit den InVeKos-Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem der EU für die Landwirtschaft) verknüpft wurden. Es muss jedoch eingeräumt werden, dass der Informationsgewinn dieser Datenverknüpfung letztendlich begrenzt war. Im Zuge der zukünftigen Fortschreibung der InVeKos-Daten (Angaben zu Fruchtfolgen, Art der Bodenbearbeitung) ist zu erwarten, dass der Informationsgewinn für die hier untersuchten Fragestellungen deutlich größer werden wird.
- Selbst bei idealer Datengrundlage darf jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass eine Identifikation einer „besten“ Maßnahme im außerörtlichen Bereich allein durch die hier präsentierte Methodik möglich ist. Dies erscheint nach den Erkenntnissen dieses Projektes auch nicht sinnvoll. Das Ziel des Entscheidungsprozesses war vielmehr, dem Planer auch die „zweitbeste“ Alternative anzubieten. Die Aufstellung der Entscheidungsmatrix unterlag der Abwägung zwischen der landwirtschaftlichen und wasserwirtschaftlichen Bewertung, die zum Ausschluss von Maßnahmen führt, wenn sie den Zielen des vorbeugenden Hochwasserschutzes entgegen stehen und dem Anspruch, dem Nutzer des Expertensystems die notwendige Flexibilität (Alternativen) im Planungsprozess zu lassen.
- Eine verstärkte Nutzung der FLEXT-Option „weiche Kriterien“ beim Entscheidungsprozess (siehe Kapitel 5.1) wurde in diesem Zusammenhang nicht weiter verfolgt, weil die Hinweise weniger an die Standorte als vielmehr an die Maßnahmen gekoppelt sind. Somit können die Umsetzungshinweise besser in den Maßnahmensteckbriefen (siehe Anhang) platziert werden.
- In diesem Punkt und mit Blick auf die Verifizierung des Entscheidungsprozesses wäre es wünschenswert, wenn beispielweise im Rahmen von Entwicklungs- und Erprobungsvorhaben eine weitere Vertiefung des vorgelegten Ansatzes anhand von Fallstudien stattfinden könnte, wie er für die Siedlungswasserwirtschaft bereits existiert.
- Es ist festzuhalten, dass naturschutzfachliche Einflussfaktoren nicht direkt in die Entscheidungsmatrizen eingebunden wurden.

- Aus naturschutzfachlicher Sicht wäre eine typisierte Standortbewertung für Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes nur in begrenztem Maße sinnvoll, weil diese in der Regel zu verallgemeinernd und der notwendige örtliche Bezug nicht vorhanden wäre. Eine fundierte naturschutzfachliche Bewertung setzt eine Berücksichtigung der konkreten räumlich-funktionalen Zusammenhänge voraus. Deshalb können konkrete Entscheidungsregeln nur für wenige Teilaspekte generell formuliert werden. Dazu gehört z. B. die vorrangige Sicherung vorhandener Flächennutzungen/Biototypen in Schutzgebieten. Die darüber hinausgehenden entscheidungsrelevanten Naturschutzaspekte können nur dann einen hinreichenden Konkretisierungsgrad im Sinne einer Handlungsanleitung erfahren, wenn sie die speziellen Bedingungen und die naturräumlichen Gegebenheiten bei der Maßnahmenumsetzung vor Ort berücksichtigen. Zu diesem Zweck wurde ein Kriterienkatalog zur Auswahl und Umsetzung der einzelnen wasserrückhaltenden Maßnahmen erstellt (siehe Kapitel 4.2.3.2), dessen Anwendung einzelfallbezogen und auf die Ausnutzung der vorhandenen Synergieeffekte mit anderen Naturschutzzielen ausgerichtet ist.
- Die ökonomischen Einflussfaktoren wurden aus dem programmgestützten Entscheidungsprozess ausgeklammert und nur für den Bereich der siedlungswasserwirtschaftlichen Maßnahmen zur Festlegung der „besten“ Maßnahme genutzt. Im landwirtschaftlichen Bereich wurde hierauf verzichtet, da die ökonomische Einschätzung komplexer ist und eine Einengung der Maßnahmen beim realisierten Stand des Entscheidungsprozesses nicht angezeigt erscheint. Wie beim naturschutzfachlichen Aspekt wurde auch eine maßnahmenbezogene ökonomische Bewertung vorgezogen (siehe Kapitel 4.1.3 und 4.2.3).
- Die Einbindung forstwirtschaftlicher Maßnahmen und Einflussfaktoren in den Entscheidungsprozess ist möglich und wünschenswert. Im Rahmen des Projektverbundes wurden forstwirtschaftliche Maßnahmen mit Vertretern der TU Dresden, Institut für Allgemeine Ökologie und Umweltschutz (DBU-Projekt „Hochwasserschutz und naturschutzgerechte Behandlung umweltgeschädigter Wälder und Offenlandbereiche im Osterzgebirge“) diskutiert. Eine konkrete Einbindung konnte allerdings im Rahmen dieses Projektes nicht realisiert werden.

Es bleibt noch einmal darauf hinzuweisen, dass alle Maßnahmenkarten in der digitalen Dokumentation dieses Berichtes als GIS-Dateien im ArcView-Shape-Format zur Verfügung stehen. Darüber hinaus enthält der Datenträger eine lauffähige Version der Software FLEXT mit den Entscheidungssystemen für die urbanen und die landwirtschaftliche Flächen. Über eine interaktive Abfrage der standortspezifischen Verhältnisse kann damit der interessierte Nutzer lokal angepasste Empfehlungen für sein Planungsgebiet innerhalb oder außerhalb des Einzugsgebietes der Mulde abfragen.

Die Zielgruppe dieser Informationen sind Planer und Entscheidungsträger aus der Wasserwirtschaft und der Siedlungswasserwirtschaft, aber auch Fachleute aus der Landwirtschaft, dem Naturschutz und der Landes- und Regionalplanung sowie Bauleitplanung. Sowohl die Karten als auch das Pro-

gramm informieren über die Bandbreite der wasserrückhaltenden Maßnahmenalternativen und sind damit ein nützliches Hilfsmittel zu Beginn des Planungsprozesses vor Ort.

6 Mögliche Umsetzungsszenarien und ihre Auswirkungen auf die Hochwasserentstehung

6.1 Vorgehensweise

Ein verbesserter Wirkungsnachweis von flächenhaften Hochwasserschutzmaßnahmen war eine Kernaufgabe des Projektes. Um Aussagen zur Wirkung von Maßnahmen in der Fläche auf das Hochwassergeschehen treffen zu können, muss das Verhalten der Maßnahmen während eines Hochwasserereignisses beschrieben werden und es muss festgelegt werden, in welchem Maße die betrachteten Maßnahmen im Einzugsgebiet umgesetzt werden können.

Zu beiden Aspekten wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens Methoden und Ergebnisse erarbeitet, die im Folgenden vorgestellt werden. Wie bereits in den Kapiteln 4 und 5 werden die Ergebnisse für die Siedlungsgebiete und die landwirtschaftlichen Flächen separat vorgestellt, auch wenn in diesem Kapitel deutlich wird, dass es durchaus methodische Gemeinsamkeiten gibt. Dies bezieht sich nicht nur auf die hydrologische Modellierung der beiden Bereiche mit dem gleichen Modell STORM.

Die Frage nach der Umsetzbarkeit der in Kapitel 4 vorgestellten Maßnahmen mündet in der Festlegung fachlich begründeter Szenarien. Diese Szenarien des flächenhaften Hochwasserschutzes auf regionaler Ebene (Einzugsgebietsebene) erheben nicht den Anspruch, unverändert umgesetzt zu werden. Es sollen jedoch fiktive Zukunftszustände entwickelt werden, die in Art und Umfang der vorgeschlagenen Maßnahmen sowie in ihrer zeitlichen Dimensionen realistisch sind. Die in Kapitel 5 erläuterten Maßnahmenkarten und die in Kapitel 3 dargestellte einzugsgebietsweite Ermittlung des Wasserrückhaltepotenzials (Senkenpotenzials) bilden die Grundlage für die Aufstellung von realistischen Zukunftsszenarien für das Einzugsgebiet der Mulde.

Die Parametrisierung der hydrologischen Wirkung der einzelnen Maßnahmen erfolgte im ersten Schritt anhand von überschaubaren, kalibrierbaren Beispielflächen - sogenannten Testflächen. Der Vorteil dieser Herangehensweise ist, dass die Abflussbildungsprozesse und das Speicherverhalten unter einheitlichen Randbedingungen besser bewertet und verglichen und andere sich überlagernde Effekte zunächst ausgeblendet werden können. Erst nach Abschluss dieser Phase, die der Implementierung des vorhandenen hydrologisch-bodenphysikalischen Prozessverständnisses in das Modell diente, wurden ein Teileinzugsgebiet der Mulde und schließlich das Gesamteinzugsgebiet hydrologisch modelliert.

Die modelltechnische Abbildung der Szenarien mit Hilfe eines Niederschlags-Abfluss-Modells soll den Nutzen der Maßnahmen quantifizieren und die Basis für eine zukünftige Optimierung des Hochwasser-Flächenmanagements bilden.

6.2 Entwicklung von Umsetzungsszenarien

6.2.1 Umsetzungsszenario für die Siedlungsgebiete

Sowohl bei der Erstellung der Szenarien im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft als auch im Bereich der Landwirtschaft wurde jeweils eine Maßnahme ausgewählt und deren mögliche Umsetzung im Einzugsgebiet der Mulde genauer untersucht. Für den Bereich der urbanen Gebiete wurde die unvernetzte Form der Regenwasserbewirtschaftung durch Mulden-Rigolen-Elemente (MRE) ausgewählt.

Die MRE sind von besonderer Bedeutung für den Wasserrückhalt, weil sie im Gegensatz zum vernetzten Mulden-Rigolen-System das gesamte Neiderschlagswasser bis zum Erreichen ihrer Speicherkapazität dauerhaft zurückhalten und von dort aus in den Untergrund abgeben. Damit ist die hochwassermindernde Wirkung dieser Anlagen in jedem Fall höher als die von Systemen mit gedrosselter oder gar vollständiger Ableitung ins konventionelle Trennsystem oder Gewässernetz. Die Maßnahmenkarte für die Siedlungsgebiete weist aus, dass 28 % der bestehenden Siedlungsflächen im Mulde-Einzugsgebiet mit Hilfe unverteilter Mulden-Rigolen-Elemente entwässert werden könnten (siehe Kapitel 5).

Für ein realistisches Szenario wäre es falsch davon auszugehen, dass dieses Potenzial vollständig ausgeschöpft d. h. umgesetzt wird. Das tatsächliche Abkopplungspotenzial bestehender Siedlungsflächen ist weitgehend unabhängig von den bekannten Einflussfaktoren zur Bestimmung der Art der Regenwasserbewirtschaftung. Hier spielen vielmehr die Eigenschaften der einzelnen Grundstücke und Gebäude die entscheidende Rolle, über die in der notwendigen Detailliertheit flächendeckend keine Informationen vorliegen. Es wurde daher angenommen, dass rund die Hälfte der potenziellen Flächen mittel- bis langfristig mit einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung ausgestattet werden können. Als Planungszeitraum für ein solches Ziel können 15 Jahre als realistisch angesehen werden. Die Zielvorgabe einer 15 %-igen Abkopplung in 15 Jahren zu realisieren, wurde bereits in einem Planungsvorhaben im Einzugsgebiet der Emscher verwendet. In diesem Einzugsgebiet ist ein „Abkopplungsprogramm“ mit diesem Ziel im Jahre 2005 gestartet worden (BECKER et. al, 2005). Wie in Kapitel 5 erläutert, konnte die Auswahl von 15 % der geeigneten Siedlungsflächen zwar nicht nach der von Bandermann et al. (2005) beschriebenen Methodik zur Erstellung einer Ankopplungspotenzialkarte erfolgen, trotzdem wurden Kriterien formuliert und angewandt, die zu einer qualifizierten Auswahl der Flächen führen. In diesem Zusammenhang kommt den Hinweisen, den sogenannten „weichen Kriterien“ des Entscheidungsprozesses, eine entscheidende Bedeutung zu (siehe Kapitel 5.2.1). Unter den Standorten, die mit Hilfe von FLEXT als geeignet für die Bewirtschaftung mit Mulden-Rigolen-Elementen identifiziert wurden, kann anhand dieser hilfreichen Zusatzinformationen eine weitere Differenzierung erfolgen.

In einem ersten Schritt wurden die Flächen aus dem Szenario ausgeblendet, die zwar für MRE geeignet sind, auf denen die Gefällesituation jedoch hohe Baukosten verursachen wird. Außerdem wurden die Flächen von einer weiteren Betrachtung ausgeschlossen, die im Bereich einer 80 m-

Zone um die Gewässer liegen. Neben der Gefahr des hydraulischen Kurzschlusses liegt es im Bereich des Möglichen, dass hier eine direkte Ableitung ins Gewässer realisiert werden kann und daher durch die konkrete Planung favorisiert wird.

In einem zweiten Schritt wurden die Flächen eliminiert, auf denen die momentane Nutzung eine erhöhte Verschmutzung vermuten lässt oder die aufgrund der Bodentypinformationen im Verdacht stehen, Stauwasserstandorte zu sein. Die Anwendung dieser Filterkriterien reduzierte den betrachteten Flächenanteil von 28 % auf 25 %. Eine weitere Reduktion der betrachteten Flächen auf 15 % musste nach dem Zufallsprinzip erfolgen. Der Versuch, eine zusätzliche Filterung der Flächen über die hydraulische Leitfähigkeit der Standorte zu realisieren, führte zu keinem Erfolg, weil bereits im Rahmen des FLEXT-Entscheidungsprozess die hydraulische Leitfähigkeit als Ausschlusskriterium angewendet wurde. Dies hat zur Konsequenz, dass die Gesamtheit der MRE-Standorte in einem Kf-Wertebereich zwischen 5 mm/h und 15 mm/h liegen.

Im Ergebnis wurden 87 km² der Siedlungsflächen im Einzugsgebiet der Mulde ausgewählt. Hierbei handelt es sich nicht ausschließlich um versiegelte Flächen. Basierend auf den Erfahrungen der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH bei der Ermittlung von Abkopplungspotenzialkarten konnte den verschiedenen Baustrukturen näherungsweise ein Versiegelungsgrad zugeordnet werden. Danach lassen sich die ausgewählten Flächen des Einzugsgebietes differenzieren in 50 km² versiegelte und 36 km² unversiegelte Flächen. Der mittlere Versiegelungsgrad liegt bei 58 %, wobei dieser je nach Teileinzugsgebiet zwischen 56 % und 60 % variiert.

Um eine räumlich differenzierte Darstellung der Ergebnisse des Szenarios zu ermöglichen, wurde das Einzugsgebiet der Mulde in 30 Teileinzugsgebiete eingeteilt. Die Untergliederung orientierte sich an den hydrologischen Einzugsgebietsgrenzen des Gewässersystems sowie an der naturräumlichen Gliederung des Einzugsgebietes (siehe Abbildung 45). Der Bereich des Einzugsgebietes nördlich von Leipzig ist in der Teileinzugsgebietseinteilung nicht mehr berücksichtigt, da dieses Teilgebiet erst an der Grenze zu Sachsen-Anhalt der Mulde zufließt und die Abflüsse vor dem „Mündungspegel“ der Mulde (Bad Dübener See) nicht mehr erfasst werden.

Die räumliche Verteilung der Siedlungsgebiete im Einzugsgebiet (siehe Maßnahmenkarte) führt zwangsläufig dazu, dass der angestrebte Anteil abgekoppelter Flächen von 15 % nicht in jedem Teileinzugsgebiet erreicht werden kann. 15 % Abkopplung wird daher in dieser Arbeit als ein einzugsgebietsweiter Mittelwert verstanden, der sich nach den ausgewiesenen Potenzialen der Maßnahmenkarte richtet und von Teileinzugsgebiete zu Teileinzugsgebiete zwischen 1 % und 21 % variiert.

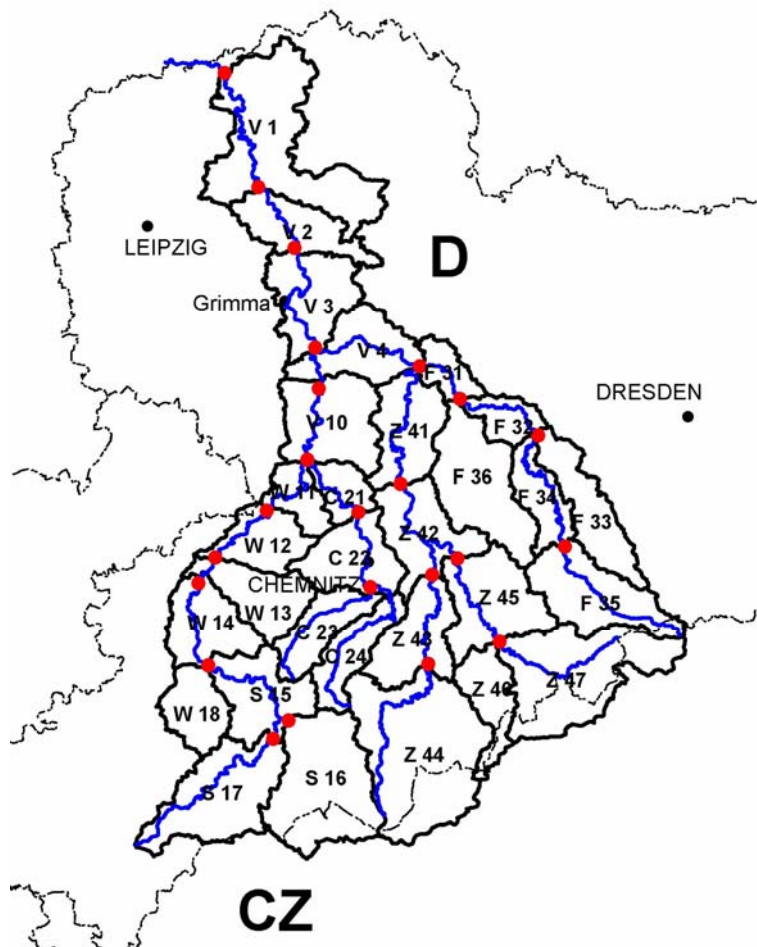


Abbildung 45: Teileinzugsgebiete für die Szenarienerstellung (Codierung entspricht der Benennung der Teileinzugsgebiete im hydrologischen Modell)

6.2.2 Umsetzungsszenario für die landwirtschaftlichen Flächen

Wie bereits erwähnt, wurde auch für die landwirtschaftlichen Flächen eine Maßnahme ausgewählt und deren mögliche Umsetzung im Einzugsgebiet der Mulde genauer untersucht. Ausgewählt wurde die konservierende Bodenbearbeitung (Mulchsaat), weil sie von besonderer Bedeutung im Einzugsgebiet der Mulde ist. Zum einen hat die Maßnahmenkarte für die landwirtschaftlichen Flächen eine sehr großes Umsetzungspotenzial für die konservierende Bodenbearbeitung im Einzugsgebiet ausgewiesen, was auf den hohen Anteil an Ackerflächen insbesondere im Mittel- und Unterlauf der Mulde in Verbindung mit nachgewiesenen großen Senkenpotenzialen zurückzuführen ist (siehe Kapitel 5.3). Zum anderen handelt es sich bei dieser Art der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung um eine allgemein anerkannte Bewirtschaftungsform (vergleichbar mit der technischen Versickerung in den Siedlungsgebieten für die Siedlungswasserwirtschaft), die dem Landwirt weiterhin eine wirtschaftliche, ackerbauliche Nutzung ermöglicht und deren zunehmende Anwendung eine gute Grundlage für ein realistisches Szenario darstellt.

Hinzu kommt, dass die Implementierung der konservierenden Bodenbearbeitung in die sächsische Landwirtschaft seit geraumer Zeit sowohl praktisch als auch wissenschaftlich vom Projektpartner Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft begleitet wird. Seit Herbst 1993 wird die konservierende Bodenbearbeitung in Sachsen über der Programm „Umweltgerechte Landwirtschaft“ (UL) gefördert. Dies geschah ursprünglich, weil die konservierende Bodenbearbeitung einen effektiven Schutz des Bodens gegen Wassererosion bietet. Anhand der Statistiken des Förderungsprogramms UL lässt sich nachvollziehen, wie sich die Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung in den verschiedenen Einzugsgebieten der sächsischen Ämter für Landwirtschaft entwickelt hat.

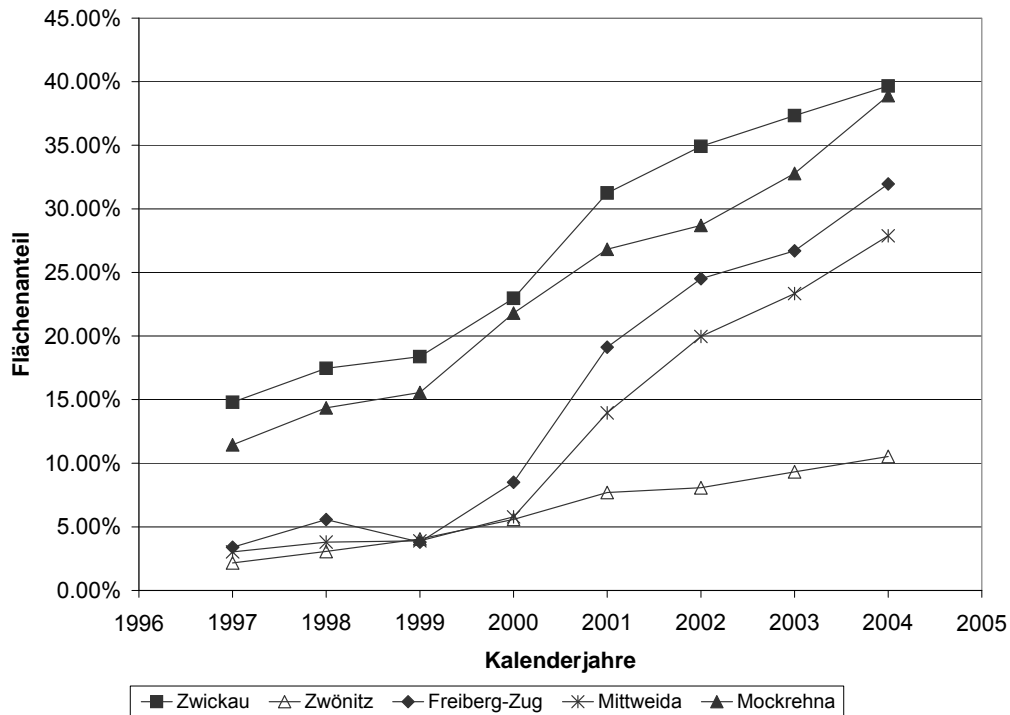


Abbildung 46: Entwicklung der konservierenden Bodenbearbeitung in verschiedenen Einzugsgebieten der Ämter für Landwirtschaft (Quelle: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, UL)

Abbildung 46 zeigt, wie sich die konservierende Bodenbearbeitung in Sachsen in den letzten Jahren zunehmend durchgesetzt hat. In den Bereichen einzelner Ämter für Landwirtschaft ist die konservierende Bodenbearbeitung auf dem Weg, die vorherrschende Form der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung zu werden. Allerdings wird auch deutlich, dass es große Unterschiede zwischen den landwirtschaftlichen Regionen im Einzugsgebiet gibt (siehe Abbildung 47).

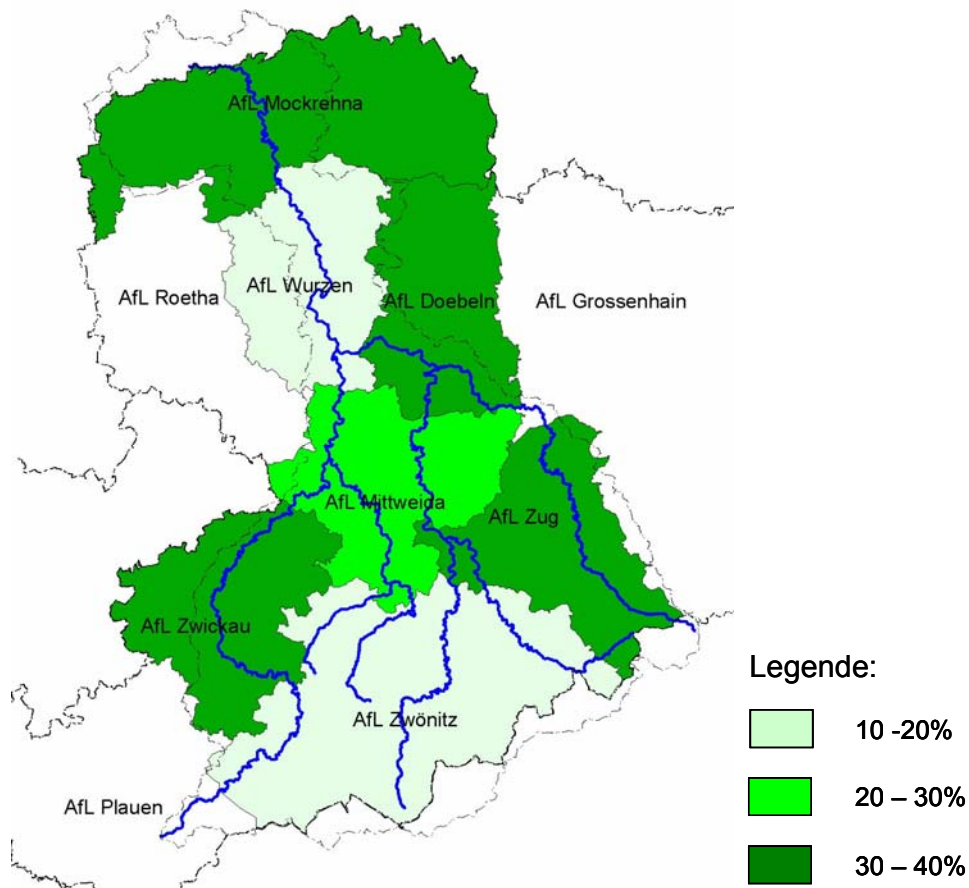
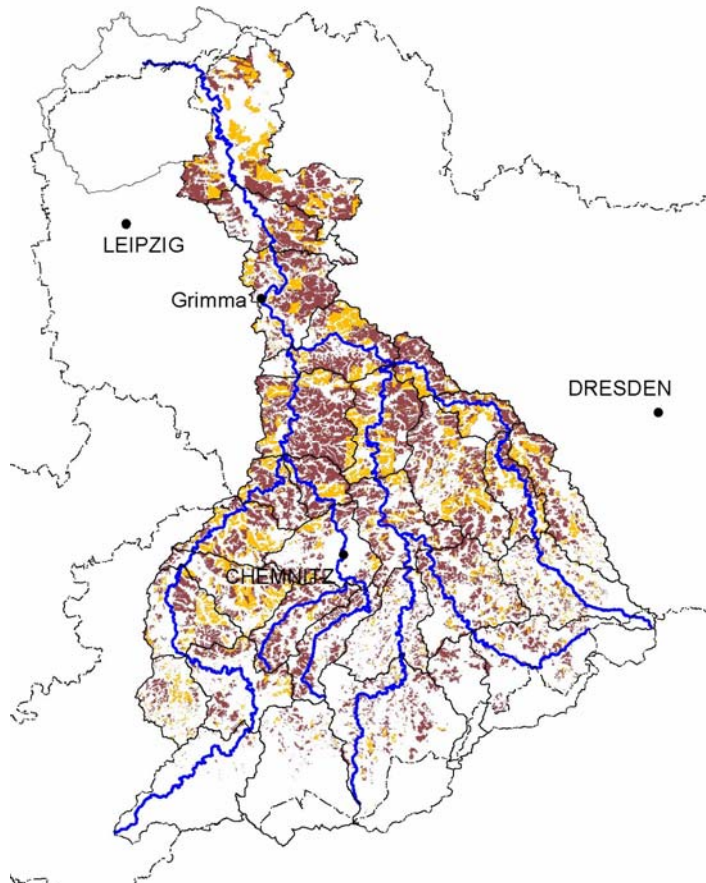


Abbildung 47: Anteil der konservierenden Bodenbearbeitung in den Einzugsgebieten der Ämter für Landwirtschaft im Jahr 2004 (Quelle: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, UL)

Die Bestandsaufnahme für das Jahr 2004 wurde als Grundlage für die Festlegung des Ist-Zustands verwendet. Von den insgesamt 2 361 km² Ackerfläche in den 30 Teileinzugsgebieten (siehe Abbildung 45) sind unter Berücksichtigung der oben vorgestellten Anteile rund 650 km² im Ist-Zustand unter konservierender Bearbeitung.

Im Rahmen der Erstellung der Maßnahmenkarte für die konservierende Bodenbearbeitung wurde erläutert, dass nicht alle Ackerflächen für den vorbeugenden Hochwasserschutz geeignet sind. Ein Vergleich mit der Entscheidungsmatrix (Tabelle 10 in Kapitel 5) zeigt, dass auf Ackerflächen mit geringem Wasserrückhaltepotenzial und der Tendenz zu schnellen Zwischenabflüssen die konservierende Bodenbearbeitung wohl möglich und aus Sicht des Erosionsschutzes oder anderer Aspekte auch sinnvoll zu sein mag, dass aber die Wirkung für den vorbeugenden Hochwasserschutz vermutlich gering ist. Unter der Vorgabe, dass nur die Standorte bei der Szenarienerstellung berücksichtigt werden, die als dominanten Abflussprozess die Tiefenversickerung oder sehr langsame

Zwischenabflüsse aufweisen, verringert sich der Umfang der geeigneten Ackerflächen auf 1 840 km². Das entspricht 78 % der gesamten Ackerflächen. Werden zusätzlich noch die Ackerflächen von der Betrachtung ausgeschlossen, die ein nur geringes Wasserrückhaltepotenzial (< 40 mm bei einem 72-stündigen Regenereignis; siehe Kapitel 3) haben, dann reduziert sich die Flächenpotenzial für konservierende Bodenbearbeitung mit Hochwasserschutzwirkung auf 1 785 km². Hierbei ist anzunehmen, dass von diesen Flächen bereits rund 500 km² (28 % im Ist-Zustand) bereits konservierend bearbeitet werden.



Legende:

- Konventionelle Bodenbearbeitung
- Konservierende Bodenbearbeitung im IST-Zustand

Abbildung 48: Angenommener Ist-Zustand der konservierenden Bodenbearbeitung in Einzugsgebiet der Mulde im Jahr 2004

Die genaue Lage der konservierenden bearbeiteten Ackerschläge kann aus der vorliegenden Datengrundlage nicht ermittelt werden. Deshalb stellt die in Abbildung 48 dargestellte Verteilung der konservierenden Bodenbearbeitung eine fiktive Annahme dar, die sich jedoch bezüglich der darge-

stellten Flächenanteile an den bekannten Anteilen der konservierenden Bodenbearbeitung im Einzugsgebiet der Vereinigten Mulde orientiert. Abbildung 48 zeigt nur die 1 785 km² Ackerflächen, die laut Maßnahmenkarte für den Hochwasserrückhalt geeignet sind (vgl. Abbildung 37).

Mit Blick auf die Entwicklung der konservierenden Bodenbearbeitung in den vergangenen Jahren (17 % mehr konservierende Bodenbearbeitung in sieben Jahren), ist es keine unrealistische Annahme, wenn von einer weiteren Zunahme der konservierenden Bodenbearbeitung in der sächsischen Landwirtschaft ausgegangen wird.

Als Zielvorgabe für das hier vorgestellte Szenario wird ein Anstieg des Flächenanteils der konservierenden Bodenbearbeitung um 20 % in den nächsten 10 Jahren festgelegt. Je nach Lage der geeigneten Ackerflächen könnte dann der Anteil der konservierenden Bodenbearbeitung in den Regionen zwischen 30 % und 60 % liegen. Im gesamten Einzugsgebiet der Mulde kämen 350 km² konservierend bearbeitete Ackerflächen hinzu. Bezogen auf die laut Maßnahmenkarte geeigneten Ackerflächen läge der Anteil der konservierenden Bodenbearbeitung dann bei 48 %. Betrachtet man alle Ackerflächen des Einzugsgebietes unabhängig von ihrer Bedeutung für den Hochwasserschutz, so handelt es sich lediglich um eine Steigerung des Anteils der konservierenden Bodenbearbeitung um 15 %.

In Abbildung 49 ist dargestellt, welche Verteilung von konservierend und weiterhin konventionell bearbeiteten Ackerflächen im Einzugsgebiet der Mulde für die hydrologische Modellierung angenommen wurde.

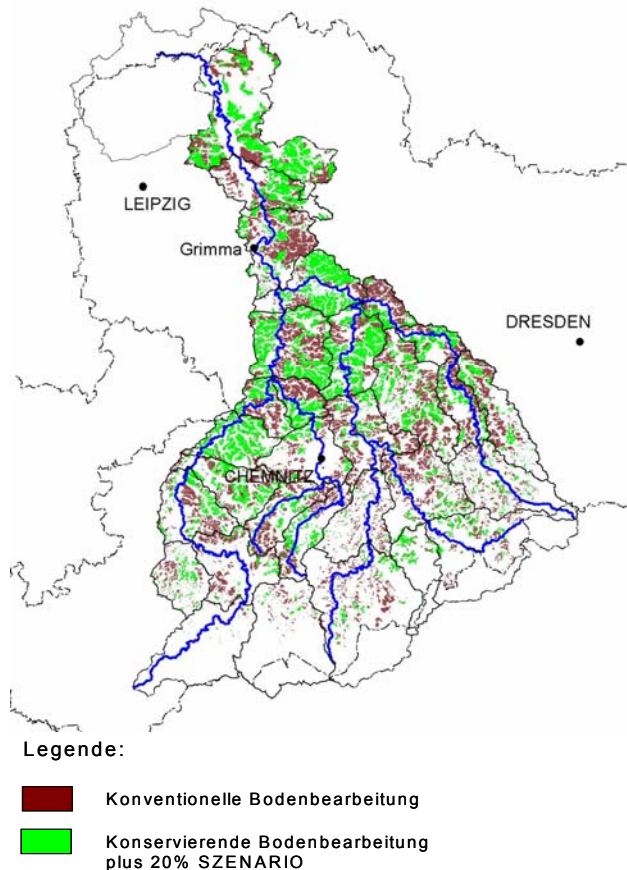


Abbildung 49: Zukunftsszenario der konservierenden Bodenbearbeitung im Einzugsgebiet der Mulde (plus 20 %)

Bei der Auswahl der zusätzlich konservierend bearbeiteten Flächen wurden zwei Ansätze gewählt. Beim ersten Ansatz wurde unter Beachtung der Eignung der Flächen für den Wasserrückhalt nach dem Zufallsprinzip 350 km² Ackerfläche selektiert. Beim zweiten Ansatz wurden bevorzugt die Flächen herausgefiltert, die nach Analyse des Wasserrückhaltepotenzials (siehe Kapitel 3) ein besonders großes Speichervermögen besitzen.

6.3 Modelldiskussion

Für die Abbildung zukünftiger Nutzungs- und Bewirtschaftungsszenarien ist der Einsatz von Niederschlags-Abfluss-Modellen notwendig. Im Rahmen des Projektes wurden insbesondere von den Projektpartnern aus der Wasserwirtschaft, der Landwirtschaft und dem Naturschutz Überlegungen zur bestmöglichen Modellierung der betrachteten Maßnahmen angestellt.

Während für den Bereich der Siedlungswasserwirtschaft bereits zu Projektbeginn die Eignung des Modells STORM (IPS, 2006) feststand, musste mit Blick auf die landwirtschaftlichen Maßnahmen die passende Modellsoftware noch ermittelt werden. Die Formulierung der spezifischen, maßnah-

menbezogenen Anforderungen an das Modell ergab, dass eine Abbildung aller genannten Maßnahmen mit einer Software nicht realisiert werden kann. Insbesondere für die Abbildung der Maßnahmen zur Flurgestaltung (Maßnahmengruppe C in Tabelle 10) sind die einzugsgebietsweite, verfügbare Datengrundlage und die dazu passenden, konzeptionellen Modellansätze hydrologischer Niederschlags-Abfluss-Modelle nicht detailliert genug. Alternativ wurden daher im Rahmen von Fallstudien einzelne Teileinzugsgebiete mit dem Modell EROSION 2D/3D (SCHMIDT et al., 1996) modelliert und die hydrologischen Effekte untersucht (siehe Kapitel 4.2.3.2 u. 7.2.6).

Wie in Kapitel 6.2 dargestellt, wurden auf Einzugsgebietebene die hydrologischen Auswirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung betrachtet. Um den zusätzlichen Wasserrückhalt konservierend bearbeiteter Ackerflächen gegenüber gepflügten Flächen modelltechnisch darstellen zu können, muss die Verschlammung und die Infiltration über vertikale Makroporen im Modell berücksichtigt werden (Zacharias, 2007). Weil keines der verfügbaren Modelle diese Prozesse in ausreichend parametrisierbarer Form abbilden konnte, wurde in Zusammenarbeit mit der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH das Modell STORM hierzu ertüchtigt.

Dabei dienten Modellkonzepte aus verschiedenen bestehenden Programmen als Ausgangspunkt. So hat NIEHOFF (2001) für das Modell WASIM mit Topmodel-Ansatz (SCHULLA, 1999) Modellansätze für die Verschlammung und den vertikalen Makroporenfluss entwickelt, die als Grundlage dienen. Weitere Informationen zu den verwendeten Modellansätzen und insbesondere zu deren Parametrisierung finden sich in den folgenden Kapiteln.

6.4 N-A-Modellierung möglicher Umsetzungsszenarien - Siedlungsgebiete

6.4.1 Dimensionierung unverbundener Mulden-Rigolen-Elemente

Nachdem in Kapitel 6.2.1 das betrachtete Siedlungsszenario für das Einzugsgebiet der Mulde erläutert wurde, soll nun vorgestellt werden, welche Eigenschaften die Mulden-Rigolen-Elemente haben müssen, um den gewünschten Entwässerungskomfort in der Siedlungswasserwirtschaft zu gewährleisten. Vorweg kann festgehalten werden, dass die hier präsentierte Vorgehensweise der üblichen Dimensionierung mittels Langzeitkontinuumssimulation entspricht.

Generelle Zielgröße der Bewirtschaftung ist, die ober- und unterirdischen Speichervolumina der Elemente insgesamt so zu bemessen, dass die Anlagen im Durchschnitt höchstens einmal in fünf Jahren überlastet werden. Diese in SIEKER et al. (2006) empfohlene Überlastungshäufigkeit von $n = 0,2$ wird in Anlehnung an die Überlastungshäufigkeit existierender konventioneller Trenn- oder Mischsysteme gewählt, die nach allen Erfahrungen zwischen $n = 0,5$ und $n = 0,33$ liegt. Weil jedoch bei Versickerungsanlagen die Durchlässigkeit des natürlich anstehenden Bodens nur in Grenzen genau bestimmt werden kann, ist ein Sicherheitszuschlag im Sinne der verringerten Überlastungshäufigkeit zu empfehlen.

Ein weiterer, bisher wenig beachteter Aspekt kommt hinzu: Wenn ein Grundstück dezentral so bewirtschaftet wird, dass unterhalb der Überlastungsgrenze von $n = 0,2$ keinerlei Regenabfluss das Grundstück verlässt, muss diese Vorgabe sowohl für den versiegelten wie für den unversiegelten Teil des Grundstücks gelten, d. h., auch die unversiegelten Anteile eines Grundstücks müssen durch vorsorgliche Maßnahmen so bewirtschaftet werden, dass für sie ebenfalls das Überlastungskriterium von $n = 0,2$ gilt. Naturgemäß haben jedoch unversiegelte Flächen eine eigene Versickerungsfähigkeit, die bei der Bemessung eventuell zusätzlich erforderlicher Speichervolumina zu berücksichtigen ist.

Tabelle 11: Randbedingungen der Dimensionierung und Speichervolumina der Testflächen

Name der Niederschlagsstation	Dresden
Beginn der Messreihe	1951
Ende der Messreihe	2004
Anzahl der Beobachtungsjahre [a]	54
mittl. Jahresniederschlagshöhe [mm/a]	725
hydraulische Leitfähigkeit (kf-Wert) [m/s]	$2,78 \cdot 10^{-6}$

			m ³ /1000m ²	m ³ /ha
erforderliche Speichervolumina	versiegelte Testfläche	Muldenvolumen	18.16	182
		Rigolenvolumen	33.44	334
		Speichervolumen des Mulden-Rigolen-Elements	51.60	516
	unversiegelte Testfläche	Muldenvolumen	2.88	29
		Rigolenvolumen	11.76	118
		Speichervolumen des Mulden-Rigolen-Elements	14.64	146

Die notwendigen Speichervolumina zur Einhaltung der vorgegebenen Überlastungshäufigkeit von $n = 0,2$ wurden mit dem Modell STORM nach dem Verfahren der Langzeitsimulation berechnet. Maßgebliche Einflussgrößen sind dabei die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (kf) des anstehenden Bodens und die örtliche Niederschlagscharakteristik, die nicht allein durch die unterschiedlichen Jahresniederschläge, sondern auch durch die unterschiedlichen Häufigkeiten und Intensitäten der einzelnen Niederschlagsereignisse bestimmt wird.

Im Folgenden werden die notwendigen Speichervolumina dargestellt, die sich unter Nutzung der langjährigen kontinuierlichen Niederschlagsreihen der Station Dresden ergeben haben. Sie werden für zwei Testflächen von jeweils 0,1 ha für versiegelte und unversiegelte Flächen berechnet. Für die Versickerungsmulde wurde dabei jeweils eine Überlaufhäufigkeit von $n = 1$ zugrundegelegt, d. h., der Überlauf der Mulde in die Rigole springt einmal jährlich an. Das Gesamtelement wird jedoch nur einmal in fünf Jahren überlastet.

Die Tabelle 11: zeigt im oberen Teil die Kennwerte der Niederschlagsstationen und die zugehörigen Kf-Werte. Im unteren Teil sind die berechneten Speichervolumina der Mulden und Rigolen für die versiegelte Fläche (2. bis 4. Zeile) und für die unversiegelte Fläche (5. bis 7. Zeile) dargestellt. In der 4. Zeile ist die Summe aus Mulden- und Rigolenvolumen für die versiegelte Fläche angegeben. Rund 52 m³ Speichervolumen pro 1 000 m² (520 m³/ ha) angeschlossene Flächen müssen die Mulde-Rigolen-Elemente bereithalten. Dieses sind – verglichen mit den in der Siedlungswasserwirtschaft üblichen Volumina von Regenüberlaufbecken oder Regenrückhaltebecken – bisher unbekannt hohe Werte. Die 7. Zeile zeigt die Summe des Mulden- und Rigolenvolumens für die unversiegelte Fläche. Sie beträgt 14,6 m³ pro 0,1 ha. bzw. 146 m³ pro ha.

Die Dimensionierung für alle MRE des Einzugsgebietes kann bzw. muss sich auf die hier dargestellten Annahmen beschränken. Sie kann sich auf den einen angenommenen Kf-Werte ($2,78 \cdot 10^{-6}$ m/s oder 10 mm/h) reduzieren, da die für MRE geeigneten Standorte eine relativ einheitliche hydraulische Leitfähigkeit aufweisen (siehe Kapitel 6.2.1). Andererseits muss es bei dieser Dimensionierung bleiben, weil lediglich für die Niederschlagsstation Dresden ausreichend lange historische Regendaten für die Langzeitsimulation zur Verfügung standen.

6.4.2 Rückhaltevermögen dezentraler Bewirtschaftungsmaßnahmen bei hochwasserursachenden Niederschlagsereignissen

Für die einzugsgebietsweiten Berechnungen können nun die ermittelten Speichervolumina auf die für das Szenario ausgewählten Flächen übertragen werden (siehe Kapitel 6.2.1). Bei einem mittleren Versiegelungsgrad von 58 % ergibt sich ein spezifisches mittleres Speichervolumen von rund 360 m³ je Hektar abgekoppelte Fläche.

Dieses bauliche Speichervolumen ist noch nicht das Rückhaltevolumen der dezentralen Bewirtschaftungsanlagen. Dieses ergibt sich bei hochwasserursachenden Niederschlägen erst aus der Summe des baulichen Speichervolumens und dem Versickerungsvolumen während der Dauer des Niederschlags. Diese Summe wird den Hochwasserabflüssen durch die dezentrale Bewirtschaftung im Sinne einer physikalischen Senke entzogen und stellt die eigentliche Rückhaltewirkung der dezentralen Bewirtschaftung dar. Das auf diese Weise aktivierte Senkenpotenzial ist von der Summe und dem zeitlichen Verlauf der Niederschläge und bei einzugsgebietsweiter Betrachtung auch von der örtlichen Verteilung der Niederschläge abhängig.

Tabelle 12 zeigt im oberen Teil vier Niederschlagsereignisse, die im Muldegebiet zu Hochwasserabflüssen geführt haben, mit den Niederschlagshöhen in mm, die an drei für das Einzugsgebiet repräsentativen Stationen – Fichtelberg (Erzgebirge), Chemnitz (Hügellandanteil), Leipzig (Flachlandanteil) – registriert wurden. Im unteren Teil sind die sich ergebenden relativen Senkenpotenziale des baulichen Speichervolumens (360 m³/ha) angegeben. Es ist zu erkennen, dass das Senkenpotenzial – bei gleichem baulichen Speichervolumen – erwartungsgemäß dort am höchsten ist, wo die größten Niederschlagshöhen fallen (Fichtelberg). Das Rückhaltevolumen schwankt zwischen 450 m³ und 925 m³ je Hektar dezentral bewirtschafteter Siedlungsfläche. Umgekehrt ist das

aktivierte Senkenpotenzial dort am kleinsten, wo die geringsten Niederschlagshöhen auftraten (Leipzig). Dort wird das bauliche Speichervolumen bei diesen Ereignissen mit Werten zwischen 250 m³/ha und 320 m³/ha noch nicht einmal ausgeschöpft. Daraus lässt sich jedoch nicht direkt folgern, dass die baulichen Speichervolumen für MRE im Raum Leipzig überdimensioniert sind. Das Speichervolumen kann durchaus für kurze Starkregen, die einmal in fünf Jahren erreicht oder überschritten werden, erforderlich sein.

Damit zeigt sich ein bisher wenig oder gar nicht beachteter Vorteil unverteilter dezentraler Bewirtschaftungsanlagen: Im Hinblick auf den Rückhalt von hochwasserverursachenden Niederschlägen entfalten sie dort ihre höchste Wirkung, wo der höchste Niederschlag fällt.

Die örtliche Verteilung des Senkenpotenzials hängt jedoch nicht nur von der örtlich unterschiedlichen Überregnung, sondern auch von der örtlichen Verteilung der Siedlungsflächen innerhalb des Einzugsgebietes ab. Abbildung 50 zeigt die örtliche Verteilung des potenziellen Rückhaltevolumens unverteilter dezentraler Bewirtschaftungsanlagen im Einzugsgebiet der Mulde unter Vorgabe des (örtlich ungleichmäßig verteilten) Regenereignisses vom August 2002 (Elbehochwasser) und unter der Annahme, dass ein „Abkopplungsszenario“ von 15 % umgesetzt sei. Erwartungsgemäß ragen dabei die großen Siedlungsgebiete Chemnitz, Zwickau usw. als Schwerpunkte potenziellen Rückhaltevolumens heraus.

Tabelle 12: Niederschlagshöhen im Einzugsgebiet der Mulde und aktiviertes Senkenpotenzial bei hochwasserverursachenden Niederschlägen

Hochwasser-Zeitraum	Ereignis-dauer	Niederschlagshöhe [mm]		
		Station Fichtelberg	Station Chemnitz	Station Leipzig
10.8. - 14.8.2002	5 d	260	108	56
25.8. - 5.9.1995	12 d	195	127	57
30.8. - 13.9.1990	15 d	110	96	66
7.8. - 12.8.1978	6 d	97	78	62

Hochwasser-Zeitraum	Ereignis-dauer	Station Fichtelberg	Station Chemnitz	Station Leipzig
10.8. - 14.8.2002	5 d	173%	136%	80%
25.8. - 5.9.1995	12 d	257%	177%	70%
30.8. - 13.9.1990	15 d	144%	124%	78%
7.8. - 12.8.1978	6 d	125%	112%	89%
Mittelwert		175%	137%	79%
100 % entsprechen dem baulichen Speichervolumen der Mulde und der Rigole				

Abbildung 51 zeigt schematisch – wieder auf das Hochwasser vom August 2002 bezogen – welche quantitativen Auswirkungen das betrachtete Szenario auf das Gewässersystem der Mulde hat und wie sich die Senkenpotenziale entlang der Gewässerstrecken kumulieren. Am Ausgang des Muldeinzugsgebietes summiert sich der Rückhaltevolumen bei diesem Ereignis auf 4,43 Mio. m³. Tabelle 13 stellt die einzugsgebietsweit summierten Senkepotenziale der vier in Tabelle 12 aufgeführten Niederschlagsereignisse einander gegenüber. Die Werte schwanken zwischen 3,52 Mio. m³ und 5,94 Mio. m³. Die Ursachen für diese Schwankungen liegen in den unterschiedlichen Regendauern, Regensummen und der unterschiedlichen örtlichen Verteilung der Niederschläge.

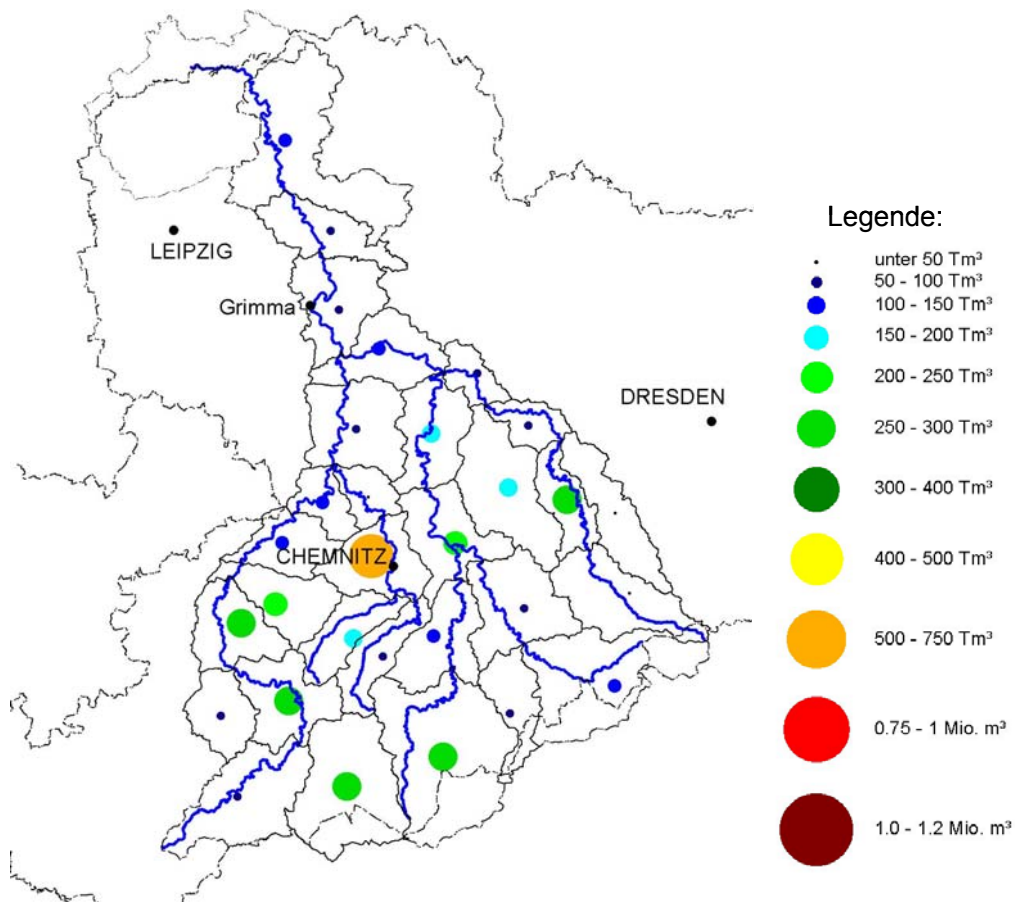


Abbildung 50: Örtliche Verteilung des Senkenpotenzials im Einzugsgebiet der Mulde beim Hochwasser im August 2002

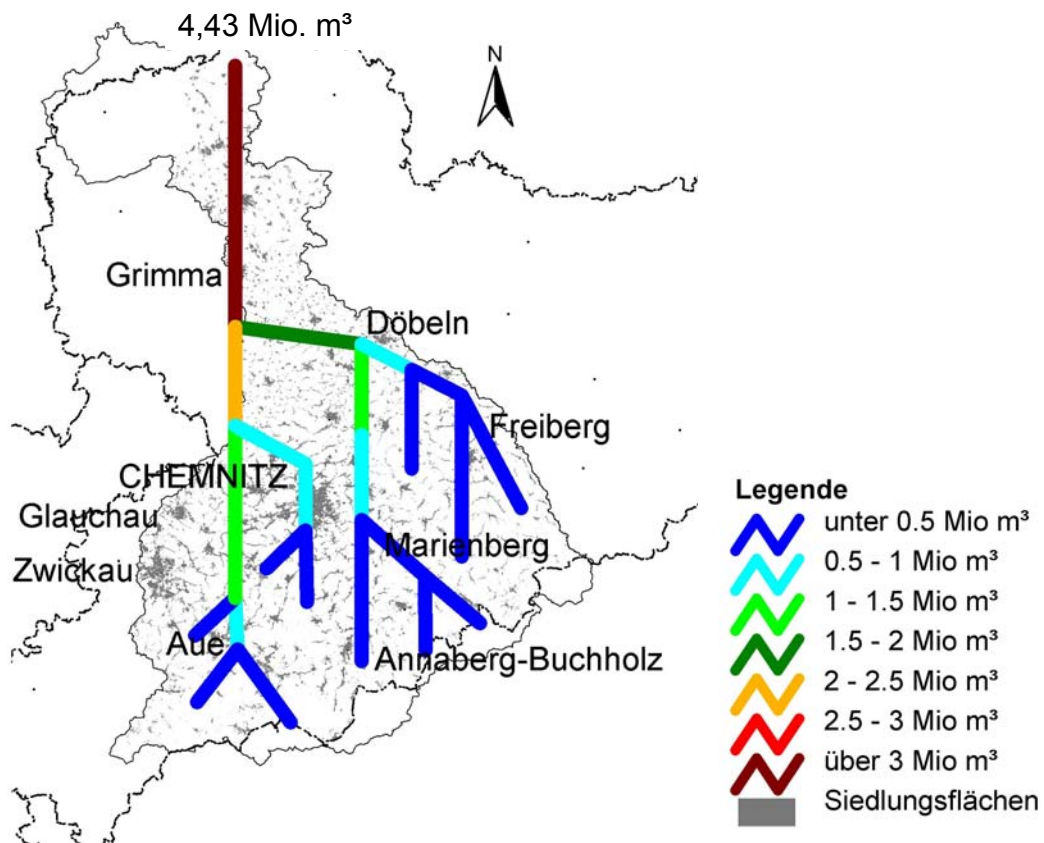


Abbildung 51: Kumulierte Senkenpotenziale entlang der Gewässer beim Hochwasser im August 2002

Tabelle 13: Senkenpotenzial in MRE bei Hochwassereignissen

Hochwasser-Zeitraum	Ereignis-dauer	Rückhalte-volumen [Mio. m ³]	mittleres spez. Rückhalte-volumen [m ³ /ha]	mittleres spez. Versickerungs-volumen [m ³ /ha]
10.8. - 14.8.2002	5 d	4.43	510	147
25.8. - 5.9.1995	12 d	5.94	684	321
30.8. - 13.9.1990	15 d	3.92	452	89
7.8. - 12.8.1978	6 d	3.54	407	44
Bauliches Speichervolumen		3.16 Mio. m ³	363 m ³ /ha	

6.5 N-A-Modellierung möglicher Umsetzungsszenarien – landwirtschaftliche Flächen

6.5.1 Modellansätze und Wahl der Modellparameter zur Abbildung der konservierenden Bodenbearbeitung

Um die hydrologische Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen im Bereich der Landwirtschaft prognostizieren zu können, ist eine Kenntnis der genauen bodenphysikalischen Wirkungen zwingend erforderlich. Wasserrückhaltende Effekte können sowohl durch eine Erhöhung der Infiltrationsfähigkeit als auch durch eine Verzögerung des Oberflächenabflusses bzw. erhöhte oberflächliche Speicherung des Niederschlagswassers erzielt werden. Im Wesentlichen sind drei Wirkungskomplexe zu unterscheiden:

- Geomorphologische Wirkungen (Oberflächenrauigkeit, Muldenspeicherung),
- Wirkungen der Porenstruktur (Porengrößenverteilung, Porenkontinuität) und
- Wirkungen der Aggregatstruktur (Oberflächenverschlammung).

Während die Maßnahmen zur Flurgestaltung (Maßnahmengruppe C in Tabelle 10 in Kapitel 5) oder die Konturnutzung (Maßnahme A3 in Tabelle 10) auf die Verbesserung der Muldenspeicherung und Oberflächenrauheit abzielen, so bewirken die Direktsaatverfahren oder die konservierende Bodenbearbeitung vor allem positive Veränderungen im Bereich der Poren- und der Aggregatstruktur. In verschiedenen Arbeiten wurde die Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung auf die Größe des Oberflächenabflusses und die infiltrationsfördernden Effekte untersucht. Während in der Mehrzahl der Arbeiten die geringere Verschlammungsanfälligkeit konservierend bestellter Flächen nachgewiesen werden konnte (ZIMMERLING, 2004), weisen Untersuchungen zur Porenstruktur z. T. widersprüchliche Wirkungen nach (ZIMMERLING 2004; CARTER et al. 2002; RASMUSSEN 1999; VANDENBYGAART et al. 2000; NITZSCHE et al. 2001).

Um das Verhalten der konservierenden Bodenbearbeitung in der Niederschlags-Abfluss-Modellierung präzise abzubilden, war eine quantitativ und qualitativ eindeutige Parametrisierung unbedingte Voraussetzung. Der Effekt bewirtschaftungsbeeinflusster Porenstrukturen im Zusammenspiel mit der Oberflächenverschlammung wurde im Modell STORM simuliert (siehe Kapitel 6.3). Dabei wurden folgende Aspekte beachtet und flossen in die Parametrisierung sowie in die Implementierung neuer Modellansätze ein:

- Veränderungen des Wasserretentionsverhaltens durch eine pfluglose Bodenbearbeitung
- Quantifizierung des Anteils der Oberflächenverschlammung an der Bildung von Oberflächenabflüssen von landwirtschaftlich genutzten Flächen
- Quantifizierung der erhöhten Infiltrationskapazität über vertikale Makroporen in tiefere Bodenhorizonte

Als Grundlage für die Modellkalibrierung dienten neben den oben genannten Vorarbeiten eigene Untersuchungen (ZACHARIAS, 2007). In der Abbildung 52 und der Abbildung 53 sind beispielhaft Ergebnisse dieser Feldmessungen dargestellt. Abbildung 52 verdeutlicht anhand eines Standortes den signifikanten Unterschied des Wasserretentionsverhaltens von konservierend bearbeiteten Böden gegenüber gepflügten Ackerflächen. Während die gepflügten Flächen in oberflächennahen

Bodenschichten aufgrund der wendenden Bodenbearbeitung ein höheres Gesamtporenvolumen aufweisen, sind konservierend bearbeitete Flächen in der Lage, größere Wassergehalte dauerhaft zu speichern. Aufgrund eines größeren Anteils an Mittelporen bleiben die Wassergehalte auf konservierend bearbeiteten Böden bei steigenden Saugspannungen auf etwas höherem Niveau. Dies macht sich auch bei der Langzeitbeobachtung zweier benachbarter aber unterschiedlich bewirtschafteter Ackerböden bemerkbar. In Abbildung 53 ist zu sehen, dass der Bodenwassergehalt auf konservierend bearbeiteten Flächen durchgehend höher liegt als bei gepflügten Flächen. Neben Unterschieden im Wasserretentionsverhalten spielen vor allem auch Differenzen in den ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeiten und eine verdunstungshemmende Wirkung der Mulchauflage konservierend bearbeiteter Standorte eine besondere Rolle.

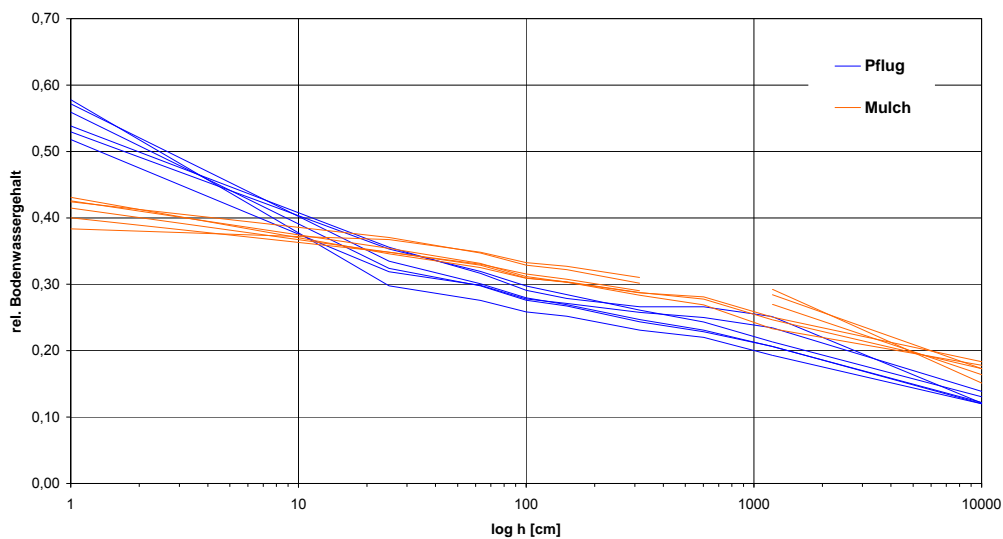


Abbildung 52: Gemessene Wasserretentionskurven konventionell und konservierend bearbeiteter Böden (Bodenart Ut4, Bodentiefe 20 cm)

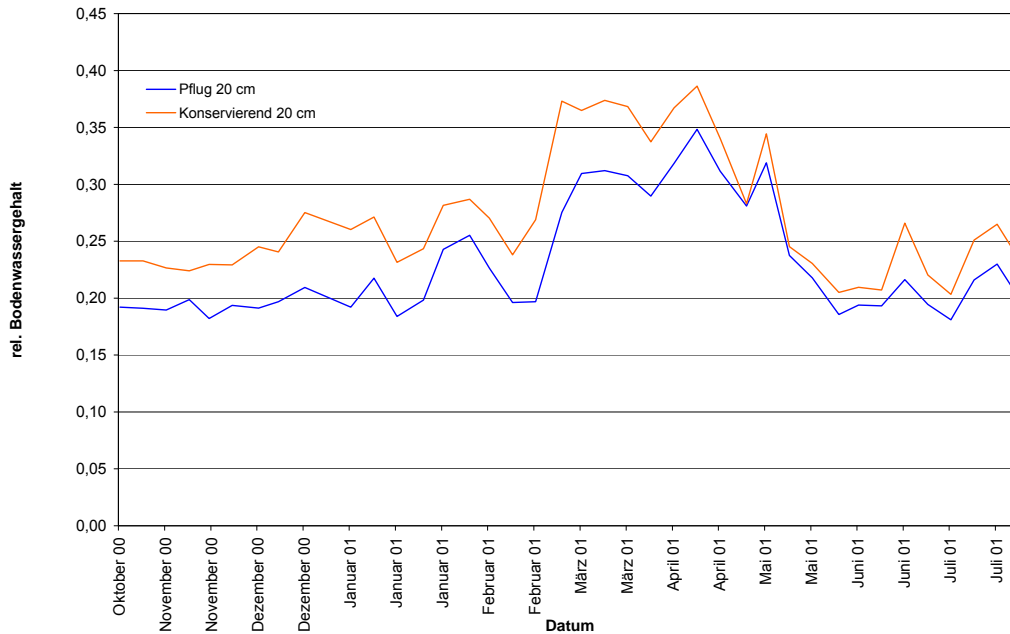


Abbildung 53: Gemessene Bodenwassergehaltsganglinien konventionell und konservierend bearbeiteter Böden im Lösshügelland (Bodenart Ut4, Bodentiefe 20 cm)

6.5.1.1 Parametrisierung der Bodenarten

Ziel der Parametrisierung ist es, für die untersuchten Szenarien zutreffende Angaben zum Infiltrationsverhalten und zu den Wasserretentionseigenschaften der Bodenschichten zu finden. Die in Abbildung 52 dargestellten bewirtschaftungsabhängigen Eigenschaften der Wasserretention und deren grundlegende Bedeutung für den Bodenwasserhaushalt und die Infiltrationseigenschaften der Standorte machen eine separate Parametrisierung der Bodenarten unter Einbeziehung der Bewirtschaftungsform nötig.

Für die Beschreibung der Wasserretentionseigenschaften wurde die Wasserspannungs-Wassergehalts-Funktion nach VAN GENUCHTEN (1980) ausgewählt.

Wie bereits in Kapitel 3.2.3.2 erläutert, kommt den bodenartenabhängigen Parametern Feldkapazität und Porosität bei der Beschreibung des Rückhaltepotenzials in der hydrologischen Modellierung besondere Bedeutung zu. Während die Porosität (oder das Gesamtporenvolumen) den potenziell verfügbaren Speicherraum beschreibt, ist die Feldkapazität ein Maß für die Wasserrückhaltefähigkeit des Bodens. Definiert ist die Feldkapazität als die Menge, die ein Boden über einen bestimmten Zeitraum hinweg gegen die Schwerkraft zu halten vermag. Es ist an dieser Stelle festzuhalten, dass die Feldkapazität keine Materialkonstante ist, sondern neben der Textur auch von verschiedenen anderen Standorteigenschaften (z. B. Grundwasserflurabstand, Lagerungsdichte) abhängig ist.

Der Tensionsbereich, in dem sich der Gleichgewichtszustand von Matrixpotenzial und Gravitationspotenzial einstellt, variiert hierbei über einen weiten Saugspannungsbereich zwischen pF 1,0 (für tonige Substrate) bis zu pF 2,5 (für Sandböden und tonarme Schluffe) In der Praxis wird aus Gründen der Vereinfachung häufig ein Wert von pF 1,8 zugrundegelegt (AG BODEN, 2005). Aus hydrologischer Sicht ist diese vereinfachte Form der Feldkapazitätsbestimmung problematisch, weil in ihr die zeitliche Komponente des Entwässerungsvorgangs bzw. der Wasserretention beispielweise während eines Hochwasserereignisses verloren geht (ZACHARIAS und BOHNE, 2007).

In dieser Arbeit wurde daher eine Methode verwendet, die von ZACHARIAS und BOHNE (1997, 2007, siehe auch Kapitel 3.2.3) vorgeschlagen wurde und es ermöglicht, in Abhängigkeit von der Bodenart (Korngrößenverteilung), der Lagerungsdichte, des Flurabstandes den jeweiligen Bodenwassergehalt des Standortes unter Berücksichtigung der Entwässerungszeit zu bestimmen.

Die Berücksichtigung der Bewirtschaftung in der Parametrisierung der Wasserretentionseigenschaften erfolgte mittels einer im Rahmen dieses Projektes neu abgeleiteten Pedotransferfunktion (ZACHARIAS und WESSOLEK, 2007), die eine Schätzung der van-Genuchten-Parameter (Gl. 2) für alle deutschen Bodenarten in Abhängigkeit der Lagerungsdichte ermöglicht. Der instationäre, gravitative Wassertransport (Entwässerungsvorgang) in der ungesättigten Bodenzone wurde anschließend mittels der Richards-Gleichung (siehe Kapitel 3.2.3.2) abgeschätzt. Für die konservierend bearbeiteten Standorte wurde generell eine Lagerungsdichte, vergleichbar den Lagerungsdichten natürlicher, unbearbeiteter Böden, angenommen. Für gepflügte Standorte erfolgte eine Schätzung der Lagerungsdichte nach RAWLS et al. (1983). Weiterhin erfolgte eine Berücksichtigung differierender Gehalte an organischem Kohlenstoff auf der Grundlage der Pedotransferfunktion von ADAMS (1973) (vgl. Tabelle 14) und deren Einfluss auf die Lagerungsdichte. Ein weiterer Einflussfaktor bei der Abbildung des Entwässerungsverhaltens ist die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (Kf-Wert). Zur Bestimmung dieses Bodenparameters steht eine Reihe von Pedotransferfunktionen zur Verfügung. Für die Auswahl der jeweils am besten geeigneten Pedotransferfunktion in Abhängigkeit von der Bodenart wurde den Hinweisen von TIETJE und HENNINGS (1996) gefolgt.

Mit Hilfe dieser Vorgehensweise wurde für jede Bewirtschaftungsform und jede Bodenart ein angepasster Modellparameter-Satz generiert, der alle wichtigen Einflussfaktoren zur Bestimmung des Wasserretentionsvermögens berücksichtigt. Als Startwassergehalt für die hydrologische Modellierung wurde der Bodenwassergehalt nach zehntägiger gravitativer Entwässerung festgelegt. Es wurde generell differenziert zwischen grundwassernahen (Flurabstand < 150 cm) und grundwasserfernen Standorten. Des Weiteren wurden vier verschiedene Bodenzustände für die oberflächen-nahe Bodenschicht angenommen (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Eigenschaften der oberflächennahen Bodenschichten unter Berücksichtigung der Landnutzung – Annahmen für die Parametrisierung

Bodenzustand	Humusgehalt	Lagerungsdichte
Oberboden unter Wiese	2,0 %	mittel
Oberboden unter Wald	5,0 %	gering
Oberboden unter konservierender Bodenbearbeitung	1,7 %	hoch
Oberboden unter konventioneller Bodenbearbeitung	1,5 %	gering

Für die unteren Bodenschichten wurde durchgehend von einem Humusgehalt von 0 % und einer hohen Lagerungsdichtestufe ausgegangen. Es wurde davon ausgegangen, dass unterhalb der Pflugschleife kein signifikanter Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wasserretentionseigenschaften der Unterböden mehr nachweisbar ist (ZACHARIAS, 2004).

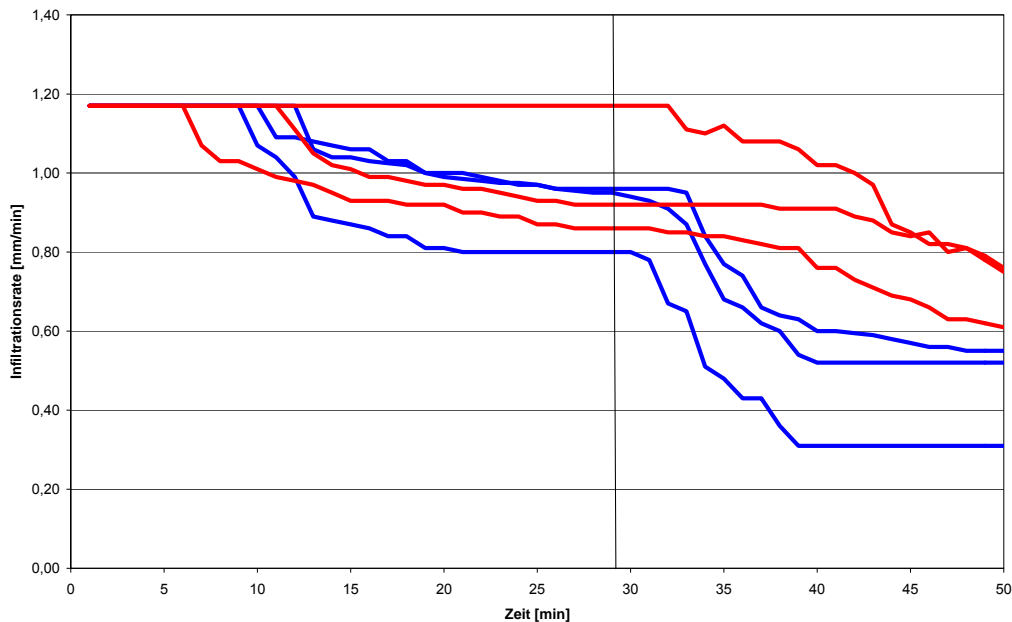


Abbildung 54: Infiltrationsmessung im Lösshügelland (Bodenart Ut4, Mai 2005, Beregnung 50 min, 1,2 mm/min, 0 – 30 min Beregnung mit Schutz vor Verschlammung, Blau = Konventionelle Bearbeitung, Rot = Konservierende Bodenbearbeitung)

Mit den oben aufgeführten Annahmen und der beschriebenen Methodik ergeben sich fünf Modellparametersätze zur Abbildung des Bodenwasserhaushalts, die je nach betrachtetem Szenario den unversiegelten Flächen im Einzugsgebiet der Mulde zugewiesen wurden. Die Parametrisierung

erfolgt in Anlehnung und unter Verwendung der von ZACHARIAS und BOHNE (2007) vorgeschlagenen Methodik. Die Verwendung der Wassergehalts-Wasserspannungs-Beziehung nach VAN GENUCHTEN erlaubt darüber hinaus auch die Ableitung der anderen Kardinalpunkte für die hydrologische Modellierung – den Bodenwassergehalt am permanenten Welkepunkt sowie das Gesamtporenvolumen.

6.5.1.2 Modellansatz zur Abbildung der Oberflächenverschlämmung

In verschiedenen Modellierungsansätzen wurde der Versuch unternommen, das unterschiedliche Infiltrationsverhalten der konventionellen und konservierenden Bodenbearbeitung (siehe Abbildung 54) durch eine Anpassung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit (k_f -Werte) abzubilden. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise lässt sich sicherlich das verbesserte Infiltrationsverhalten der konservierenden Bodenbearbeitung darstellen, es stellt jedoch eine vollständige Umkehrung der tatsächlichen Bewirtschaftungseffekte auf die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit dar. Im Falle kontinuierlicher Modellierungen des Bodenwasserhaushaltes kann solch eine fehlerhafte Parametrisierung darüber hinaus zu einer deutlich falschen Abbildung des Wassertransportes gerade auch in der ungesättigten Bodenzone und damit zu falschen Prognosen des Bodenwasserhaushaltes führen (ZACHARIAS, 2007).

Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher der Versuch unternommen, eine realistischere Parametrisierung sowohl der bewirtschaftungsbedingten Wasserretentionseigenschaften als vor allem auch der hydraulischen Leitfähigkeiten anzuwenden. Konservierend bearbeitete Böden weisen einen deutlich geringeren k_f -Wert auf als ein vergleichbarer Standort bei konventioneller Bodenbearbeitung. Die Ursache für die verbesserte Infiltrationsfähigkeit konservierend bearbeiteter Standorte ist nicht in den hydraulischen Leitfähigkeiten, sondern vielmehr in der deutlich geringeren Verschlammungsanfälligkeit und einer oft erhöhten Makroporosität begründet. Für die korrekte Modellierung der beiden Bewirtschaftungsformen war es deshalb erforderlich, die Oberflächenverschlammung als zusätzlichen Prozess in das Modell STORM zu implementieren.

Generell hängt die niederschlagsbedingte Verschlammung einer Ackerfläche von einer Reihe verschiedener Prozessgrößen ab. Die wichtigsten Prozessgrößen sind:

- Niederschlag
Der Prozess der Verschlammung von Böden wird verursacht durch Niederschlagsereignisse hoher Intensität (SCHRÖDER, 2000). Der Zerfall der Bodenaggregate wird durch die mechanische Wirkung der auftreffenden Regentropfen verursacht. Meist wird in Verschlammungsmodellen als zu berücksichtigende Prozessgröße die kinetische Energie des Niederschlags verwendet.
- Aktuelle Bodenfeuchte
Die Feuchte der Bodenaggregate bestimmt über die Zerfallsempfindlichkeit bei auftreffenden Niederschlägen. Allerdings liegen hier durchaus widersprüchliche Angaben zur Wirkung der Anfangsbodenfeuchte vor.

- Bodenart

Die Bodenart wird allgemein als bedeutendster Einflussfaktor für die Verschlammung angesehen. In Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung und der Gefügestabilität sind die verschiedenen Bodenarten in unterschiedlichem Maße verschlammungsanfällig (HENNING, 1994). Höhere Tongehalte bewirken eine größere Aggregatstabilität und sind damit weniger verschlammungsanfällig. Sinken die Tongehalte unter einen kritischen Wert, so wird die Wirkung der Verschlammung auf die Infiltrationsrate wiederum reduziert, weil nicht genügend Feinmaterial zur Verfügung steht, um eine dichte Verschlammungsschicht zu erzeugen. Generell gelten Böden mit Tongehalten zwischen 10 % und 30 % als besonders verschlammungsempfindlich.

- Vegetations- und Mulchbedeckung

In Abhängigkeit von der Landnutzung und Bodenbewirtschaftung sowie jahreszeitlich differenzierter Vegetationsentwicklung ergeben sich unterschiedliche Grade der Bodenbedeckung. Hohe Bedeckungsgrade bewirken, dass das Verschlammungsrisiko reduziert wird. Die Pflanzen und Pflanzenreste auf der Bodenoberfläche reduzieren die Aufprallenergie der auftreffenden Regentropfen und wirken damit direkt einer Verschlammung entgegen. Hinzu kommt, dass durch eine verstärkte Mulchbedeckung (beispielsweise im Zuge der konservierenden Bodenbearbeitung) der Humusgehalt der oberen Bodenschicht steigt, dadurch wird die Aggregatstabilität verbessert und damit sinkt zusätzlich die Verschlammungsgefahr.

Um die genannten Prozesse in ausreichender Genauigkeit im Modell STORM abbilden zu können, wurde ein konzeptioneller Verschlammungsansatz implementiert. Ausgehend von dem von NIEHOFF (2001) für WASIM-ETH entwickelten Verschlammungsmodul, erfüllt die hier beschriebene Lösung die folgenden Anforderungen:

- Dynamische (instationäre) Bestimmung des aktuellen Verschlammungsfaktors [-],
- Berücksichtigung der Niederschlagsintensität [mm/h] in jedem Zeitschritt der Berechnung,
- Einbindung des Jahresganges des Bodenbedeckungsgrads [-] in Abhängigkeit von der Landnutzung,
- bodenartenabhängige und landnutzungsabhängig Definition des maximalen Verschlammungsfaktors zur Festlegung der Verschlammungsneigung sowie
- zeitabhängiger Rückgang der Verschlammung infolge biologischer und physikalischer Prozesse.

Der verwendete Ansatz bewirkt eine Abnahme der aktuellen hydraulischen Leitfähigkeit der obersten Bodenschicht und damit eine Reduzierung der Infiltrationsrate, die bisher in STORM ausschließlich eine nichtlineare Funktion der aktuellen Bodenfeuchte war. Die Reduktion der unverschlammten hydraulischen Leitfähigkeit erfolgt mit Hilfe eines dimensionslosen Faktors ($C_{seal,max}(t)$) – dem effektiven aktuellen Verschlammungsfaktor. Es gilt der lineare Zusammenhang:

$$Kf_{seal}(t) = Kf \cdot C_{seal,max}(t)$$

(Gl. 3)

Neben dem Einfluss auf die Matrixinfiltration führt die aktuelle Verschlammung auch zu einer Verstopfung der Öffnungen der vertikalen Makroporen. Folglich bewirkt der aktuelle Verschlammungsfaktor auch eine Reduktion der potenziellen Makroporeninfiltrationsrate (s. u.). Die Berechnung des aktuellen Verschlammungsfaktors erfolgt für jeden Zeitschritt der Modellierung und ist eine Funktion der Niederschlagsintensität, der Bodenbedeckung sowie der Bodeneigenschaften und Landnutzung.

Die gleichzeitige Abhängigkeit von Landbewirtschaftung und Bodenart macht ein Zusammenführen des Teilfaktors Landnutzung und des Teilfaktors Bodenart in einen maximalen Verschlammungsfaktor nötig. Zur Berücksichtigung der landnutzungs- und bodenartenbedingten Verschlammungsneigung werden dimensionslose konstante Verschlammungsfaktoren eingeführt (C_{use} und C_{soil}). Beide Faktoren sind dimensionslose Parameter, die Werte von 0 bis 1 annehmen können. Ein kleiner C_{use} -Wert beschreibt eine Landnutzung, die unabhängig vom Bedeckungsgrad aufgrund der Bodenbearbeitung (mechanischer Belastung, Humusgehalt) das Verschlammungsrisiko erhöht. Alternativ kann dieser Parameter im Modell auch deaktiviert werden ($C_{use} = 1$) und die Verschlammungsgefährdung über den an die Landnutzung gekoppelten Bedeckungsgrad abgebildet werden. Der C_{soil} -Wert repräsentiert die von der Korngrößenverteilung abhängige Verschlammungsneigung der Bodenarten.

C_{fix} ergibt sich aus dem Produkt des landnutzbedingten Verschlammungsfaktors C_{use} und des bodenartenbedingten Verschlammungsfaktors C_{soil} . Es gilt:

$$C_{fix} = C_{soil} \cdot C_{use}$$

(Gl. 4)

Ausgehend vom konstanten Verschlammungsfaktor C_{fix} berechnete sich der aktuelle Verschlammungsfaktor C_{seal} unter Berücksichtigung der aktuellen Niederschlagsintensität und dem Bodenbedeckungsgrad nach folgender Gleichung:

$$C_{seal}(t) = C_{fix} + (1 - C_{fix}) \cdot \frac{C_{cover}(t) + C_P(t)}{2}$$

(Gl. 5)

Ein C_{fix} -Wert von 1,0 bedeutet demnach, dass zu keinem Zeitpunkt eine Verschlammung der Bodenoberfläche auftritt. Wird der C_{fix} -Wert auf Null gesetzt, ist der Einfluss Landnutzungs- und der Bodeneigenschaften ausgeblendet und die aktuelle Verschlammung ist ausschließlich vom Bedeckungsgrad und der Niederschlagsintensität abhängig. Laut NIEHOFF (2001) sind für C_{fix} Werte zwischen 0,3 und 0,1 und kleiner realistische Annahmen. Die konstanten Verschlammungsfaktoren (C_{use} und C_{soil}) müssen im Rahmen der Modellierung landnutzungs- und bodenartenbezogen kalib-

riert werden. Dabei kann die Verschlämmung nicht isoliert betrachtet werden. Vielmehr steht sie im Kontext des gesamten Infiltrationsprozesses, so dass die Parametrisierung zusammen mit der Kalibrierung der Matrix- und Makroporeninfiltration erfolgt (s. u.).

$C_p(t)$ in (Gl. 5) repräsentiert den von der aktuellen Niederschlagsintensität beeinflussten Teil der Verschlämmung. Entsprechend dem Ansatz von NIEHOFF wirkt bei Intensitäten < 5 mm/h der Niederschlag nicht verschlammend, d. h. $C_p(t)$ wird gleich 1 gesetzt. Bei Niederschlagsintensitäten zwischen 5 mm/h und 15 mm/h wird der Verschlämmungsfaktor von 1 auf 0 linear interpoliert (vgl. Abbildung 55).

Der Einfluss fehlender Bodenbedeckung auf die Verschlämmung wird mit Hilfe des aktuellen Bodenbedeckungsfaktors $C_{cover}(t)$ abgebildet. Es wurde davon ausgegangen, dass bei Bodenbedeckungsgraden < 100 % das Verschlämmungsrisiko linear zunimmt und bei einer verbleibenden Bodenbedeckung von 30 % die Verschlämmung infolge fehlender Bodenabdeckung maximal ($C_{cover} = 0$) wird (vgl. Abbildung 55).

Die aktuelle Verschlämmung wird während eines Niederschlagsereignisses als irreversibel angesehen. Daraus folgt, dass der effektive aktuelle Verschlämmungsfaktor ($C_{seal,max}(t)$) zum Zeitpunkt t dem Maximum aus Startverschlämmungsfaktor und dem maximalen aktuellen Verschlämmungsfaktor bis zum Zeitpunkt t entspricht.

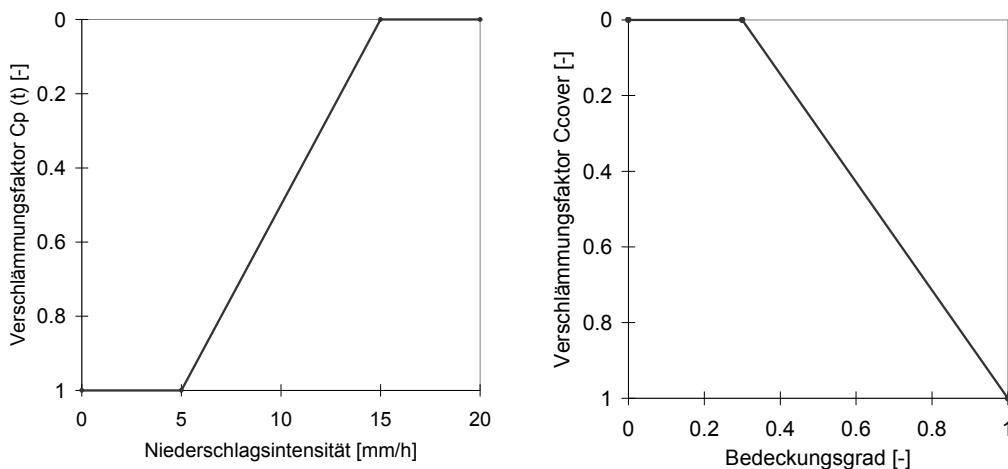


Abbildung 55: Einfluss von Bodenbedeckung und Niederschlagsintensität auf die Verschlämmungsfaktoren C_{cover} und C_p (modifiziert nach NIEHOFF, 2001)

Die Verschlammungsschicht nach einem Niederschlagsereignis unterliegt in niederschlagsfreien Phasen verschiedenen Prozessen, die eine Wiederauflockerung dieser Schicht bewirken. Hierzu zählen z. B. biologische Aktivitäten oder Schrumpfungs-Quellungs-Prozesse. Dies hat zur Folge, dass die infiltrationsreduzierende Wirkung der Verschlammungsschicht teilweise rückgebildet wird. Generelle Aussagen über die tatsächliche Ausprägung dieses Rückbildungsprozesses sind kaum

möglich, weil die beeinflussenden Faktoren standörtlich und zeitlich sehr variabel sind. Dementsprechend wird der Vorschlag von NIEHOFF (2001) aufgegriffen, der für die Rückbildung der Verschlammungsschicht einen einfachen linearen, ausschließlich zeitabhängigen Zusammenhang annimmt (siehe (Gl. 6)). Der aktuelle Verschlammungsfaktor $C_{seal}(t)$ wird in niederschlagsfreien Zeiten somit für jeden Zeitschritt aus dem Verschlammungsfaktor des vorhergehenden Zeitschrittes berechnet werden. Die Regenerationsphase endet spätestens mit der Ernte der landwirtschaftlichen Kultur. Für eine Langzeitsimulation ist es erforderlich, die entsprechenden Erntetermine zu definieren. Im Falle der einzelfallbezogenen hydrologischen Modellierung ausgewählter, hochwasserinduzierender Niederschläge kann darauf ggf. verzichtet werden. Dies nicht zuletzt, weil eine zeitliche Überlagerung dieser Niederschläge mit einer Beerntung landwirtschaftlicher Kulturen mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.

$$C_{seal}(t_n) = C_{seal}(t_{n-1}) + 0,01 \frac{\Delta t}{24} C_{seal}(t_{n-1})$$

$\frac{\Delta t}{24}$ = aktuelle Zeitschrittweite bezogen auf 24 h

(Gl. 6)

6.5.1.3 Modellansatz zur Abbildung des Makroporenflusses

Eingangs wurde bereits darauf verwiesen, dass auf konservierend bearbeiteten Ackerflächen von einem erhöhten vertikalen Makroporenfluss in tiefere Bodenschichten auszugehen ist. U. a. ZIMMERLING (2004) gibt als eine Begründung hierfür die deutlich größere biologische Aktivität auf konservierend bearbeiteten Ackerflächen an. Das Vorhandensein und die Wirkung von vertikalen Makroporen ist eine mögliche Erklärung einer Vielzahl von Beobachtungen auf konservierend bearbeiteten Landwirtschaftsflächen, die allein auf Grund der hydraulischen Leistungsmerkmale der Bodenmatrix nicht hinreichend beschrieben werden können. So ist der gemessene Oberflächenabfluss bei Beregnungsversuchen auf langjährig konservierend bearbeiteten Böden – trotz höher Lagerungsdichte und damit verbundener kleinerer hydraulischer Leitfähigkeiten der Matrix des Oberbodens – geringer als auf gepflügten Flächen.

Wenn die vertikalen Makroporen bis an die Bodenoberfläche reichen und es zu einem Horton'schen Oberflächenabfluss (Infiltrationsüberschuss) kommt, so kann in ihnen eine schnelle Perkolation des Niederschlagswassers bis in größere Bodentiefen unabhängig von den physikalischen Eigenschaften der Bodenmatrix erfolgen. Dies hat zur Folge, dass vor allem bei kürzeren, konvektiven Niederschlägen (Sommerniederschläge) oder auf Böden mit geringer Infiltrationskapazität auch der Porenraum tieferer Bodenschichten über die Makroporen erschlossen werden kann.

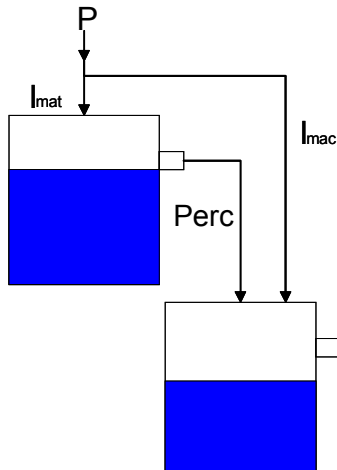


Abbildung 56: Schematisierte Darstellung des Bypass-Ansatzes, P = Niederschlag, I_{mat} = Infiltration in die Bodenmatrix, I_{mac} = Makroporenfluss, Perc = Perkolation in die zweite Bodenschicht

Eine physikalisch korrekte Beschreibung der hydraulischen Prozesse in Makroporen ist außerordentlich schwierig. So treten auf Grund hoher Fließgeschwindigkeiten in den Makroporen oft Fließturbulenzen auf, die z. B. einer Anwendung des Darcy-Ansatzes entgegenstehen. Es existiert eine Reihe von Ansätzen zur Beschreibung der Makroporeninfiltration. Im Falle des konzeptionellen Modells STORM wurde ein einfacher „Bypass“-Ansatz zur Beschreibung des Makroporenflusses verwendet. Die Infiltration wird dabei in zwei Komponenten aufgespalten: Matrixinfiltration I_{mat} und Makroporeninfiltration I_{mac} (vgl. Abbildung 56). Der Teil der Makroporeninfiltration umfließt die obere Bodenschicht und infiltriert direkt in die untergelagerte Schicht. Die Einbindung dieses Ansatzes hat den Vorteil, dass die bisherige Abbildung der bodenfeuchteabhängigen Matrixinfiltration in STORM unverändert bleiben konnte.

Bezüglich der mathematischen Beschreibung des Makroporenanteils wird ein einfacher linearer Ansatz vorgeschlagen, wie er ähnlich durch JARVIS et al. (1991) für ein von ihnen entwickeltes Stofftransportmodell vorgeschlagen wurde, wobei die konkrete Formulierung im Folgenden modifiziert wurde, um das Auftreten von Oberflächenabfluss zu berücksichtigen. Der Bypass-Ansatz geht davon aus, dass bis zum Erreichen der aktuellen, potentiellen Infiltrationsrate (pot I_{mat}), also bis zum Einsetzen des Horton'schen Oberflächenabflusses, ausschließlich die Infiltration über die Bodenmatrix stattfindet (vgl. Gl. 7).

$$I_{mac} = 0 \quad \text{und} \quad I_{mat} = P(t) \quad \text{für} \quad P(t) \leq \text{pot} I_{mat}(t)$$

(Gl. 7)

Diese Annahme bewirkt, dass ein Makroporenfluss im Modell erst bei hohen Bodenwassergehalten in der Oberbodenmatrix einsetzt – ein Effekt, der den natürlichen Verhältnissen nahe kommt und

nachbildet, dass Makroporenflüsse zur Induzierung an den Oberflächen in den meisten Fällen einen entsprechenden Überstau benötigen (vgl. (Gl. 8)).

$$I_{mac} = P - pot I_{mat}(t) \quad \text{und} \quad I_{mat} = pot I_{mat}(t)$$

für

$$P(t) > pot I_{mat}(t) \quad \text{und} \quad (P - pot I_{mat}(t)) \leq max I_{mac}(t)$$

(Gl. 8)

Die Größe $max I_{mac}(t)$ in (Gl. 8) repräsentiert die aktuelle maximale Infiltrationsrate, die in den Makroporen abgeführt werden kann. Die potentielle maximale Makroporenflussrate (in mm/h) berücksichtigt die Zahl und Größe der vertikalen Makroporen, die bis zur Oberfläche reichen sowie deren hydraulischen Anschluss an die Matrix der unteren Bodenschichten. Beide Größen sind in der Praxis kaum direkt messbar und standörtlich stark variabel. Aus diesem Grund muss der im Modell STORM eingeführte Parameter ($pot I_{mac}$), im Kontext mit der Kalibrierung der Oberflächenverschlämmung als Kalibrierungsparameter bestimmt werden. Es ist möglich, qualitative Unterschiede z. B. durch unterschiedliche Bodenbearbeitung abzubilden. Vereinfachend kann davon ausgegangen werden, dass die Größe der Makroporen je nach Landnutzung und Bodenbearbeitung im Mittel konstant ist. Es wurde daher in STORM eine statische nutzungsabhängige Makroporenflussrate ($pot I_{mac}$) für jede Landnutzung definiert, die jedoch nur ausgeschöpft werden kann, wenn keine Oberflächenverschlämmung vorliegt.

$$I_{mac} = max I_{mac}(t) \quad \text{und} \quad I_{mat} = pot I_{mat}(t)$$

für

$$P(t) > pot I_{mat}(t) \quad \text{und} \quad [P - pot I_{mat}(t)] > max I_{mac}(t)$$

(Gl. 9)

Auftretende Oberflächenverschlämmung führt auch zu einer Reduzierung der zur Verfügung stehenden Makroporen. Die aktuelle maximale Makroporenrate in (Gl. 8) und (Gl. 9) ergibt sich aus der Multiplikation mit dem aktuellen Verschlämmungsfaktor $C_{seal,max}(t)$ (s.o.). Auf diese Weise wurde die Kopplung des Makroporenansatzes mit dem Ansatz zur Abbildung der Verschlämmung in STORM realisiert. Es bleibt festzuhalten, dass der Anteil des Oberflächenabflusses der tatsächlich in Makroporen abgeführt werden kann ($max I_{mac}(t)$), somit keineswegs statisch, sondern eine zeitlich variable Größe ist (vgl. (Gl. 9)).

Erst wenn der effektive Niederschlag die Summe aus aktueller Infiltrationsrate (siehe (Gl. 3)) und dem aktuellem maximalen Makroporenfluss überschreitet, kommt es zu Oberflächenabfluss oder oberflächennahen horizontalen Makroporenflüssen. Strenggenommen wird über den Parameter $max I_{mac}(t)$ nur das Eindringen des Oberflächenwassers in die Makroporen beschrieben. Eine separate Steuerung der Makroporenentleerung in die Bodenmatrix der unteren Bodenschichten in Abhängigkeit vom aktuellen Sättigungsdefizit, wie es NIEHOFF (2001) vorschlägt, wurde in dem hier vorgestellten Ansatz nicht berücksichtigt. Es wurde darauf verzichtet, diese Prozesse explizit abzu-

bilden, weil hierfür weitere nicht direkt messbare Parameter notwendig sind. Im Einzelnen sind dies der Speicherinhalt der Makroporen sowie die hydraulische Leitfähigkeit der Makroporenwandung. Der Zufluss des Makroporeninhalts in die Bodenmatrix wurde indirekt über eine Korrekturrechnung realisiert. Im Rahmen dieser Korrektur wird der Teil des Makroporenflusses, welcher über das Speichervolumen der Zielbodenschicht hinausgeht, wieder an die Bodenoberfläche zurückgesandt und erhöht den Oberflächenabfluss bzw. den lateralen Makroporenfluss. Auf diese Weise wird eine Sättigung zumindest indirekt berücksichtigt. Die Tiefe der Makroporen über die auch die Mächtigkeit der aufnehmenden Bodenschichten definiert wird, wurde mit einer mittleren Wurzeltiefe gleichgesetzt.

Um die Perkolation des Wassers aus den verschiedenen Bodenschichten und damit die Bestimmung zusätzlich verfügbaren Speicherraumes besser abbilden zu können, wurde die Exfiltrationskennlinie in Abhängigkeit der Bodenfeuchte neu definiert. Anhand der Parameter der Wasserretention lassen sich durch die Gleichung nach van Genuchten/ Mualem (1980/1976, (Gl. 10) für verschiedene Matrixpotenziale (in cm) die ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeiten bestimmen. Parallel dazu erfolgte für jede Bodenart und Landnutzung (differenziert über Lagerungsdichten und Humusgehalte) die Umrechnung der Matrixpotenziale in die dazugehörigen Wassergehalte nach VAN GENUCHTEN (1980). Im Vergleich zum ursprünglich in STORM verwendeten Ansatz von Bear (siehe (Gl. 11) führt die Verwendung des Ansatzes von van Genuchten/Mualem dazu, dass eine mengenmäßig relevante Exfiltration erst bei höheren Wassergehalten einsetzt (siehe Abbildung 57). Das bedeutet, dass der Entwässerungsprozess später einsetzt und die Wasserretentionseigenschaften des Bodens realistischer eingeschätzt werden.

$$K(h) = K_s \frac{\left[1 - (\alpha h)^{n-1} (1 + (\alpha h)^n)^{-m}\right]^2}{(1 + (\alpha h)^n)^{mI}} \quad I = 0,5 \quad m = 1 - 1/n$$

(Gl. 10)

$$K(h) = K_s \left[\frac{\theta(h) - 0,7 \theta_{pf1,8}}{\theta_s - 0,7 \theta_{pf1,8}} \right]^3$$

(Gl. 11)

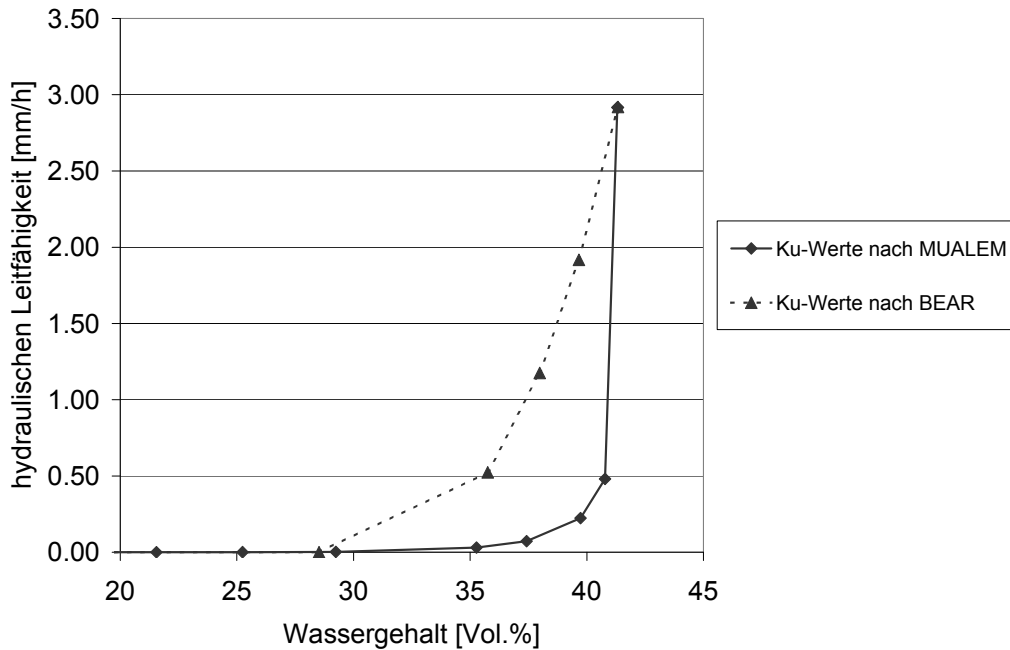


Abbildung 57: Kennlinien der Exfiltration; Bodenart Ut2; Feldkapazität: 35,8 % Wassergehalt; Gesamtporenvolumen: 41,3 % Wassergehalt; konservierende Bodenbearbeitung.

Des Weiteren wurde die Infiltrationskennlinie dahingehend verändert, dass sich bei zunehmender Sättigung des Bodens die Infiltration dem Kf-Wert nähert. In der ursprünglichen STORM-Version war hier eine „Endinfiltrationsrate“ von Null verwendet worden. Mit der Implementierung der Verschlammung kann von dieser pauschalen Absenkung des Infiltrationsvermögens Abstand genommen werden.

6.5.1.4 Kalibrierung des Bodenwasserhaushaltsmodells

In den vorangegangenen Erläuterungen ist dokumentiert, welche Parameter den konservierend und konventionell bearbeiteten Böden zugewiesen wurden. Des Weiteren wurde dargestellt, welche zusätzlichen Module in das Modell STROM implementiert wurden. In diesem Zusammenhang wurde eine Reihe von Parametern beschrieben, die aufbauend auf Messergebnissen, kalibriert wurden.

In einem ersten Schritt wurden hierzu die Bodeninformationen aggregiert. Dieser Schritt war erforderlich, um den Parametrisierungsaufwand für das Einzugsgebiet in einen praktikablen Umfang zu überführen. Insgesamt enthält die Bodenkonzeptkarte für das Einzugsgebiet der Mulde rund 1 000 verschiedene Bodenformationen, die sich allerdings in ihrer Schichtung, Mächtigkeit und Bodenartenkombination sowie ihrer Nähe zum Grundwasser teilweise sehr ähnlich sind. Um die Infiltrations- und Retentionseigenschaften ansatzweise in die Klassifizierung mit einfließen zu lassen, wurde

nach dem in Kapitel 3 beschriebenen Ansatz von Green und Ampt für jeden Boden die Infiltrationshöhe bestimmt. Hierzu wurde ein 72-stündiger Blockregen mit einer Niederschlagsintensität von 2 mm/h verwendet. In Anlehnung an die amerikanische Klassifizierung der Bodenarten, die lediglich 12 Bodenartenklassen definiert (USDA, 2006), wurden basierend auf den Angaben aus der Datenbank der Bodenkonzeptkarte insgesamt 18 Bodenartenklassen gebildet, die gleichzeitig in Abhängigkeit der Hydromorphie differenziert wurden. Auf diese Weise wurden sechs Bodengruppen aus grundwasserbeeinflussten Böden, neun Bodengruppen aus sickerwasserbeeinflussten Böden und drei Bodengruppen aus Stauwasserböden gebildet. In Tabelle 15 sind die Eigenschaften der definierten Bodenklassen im Einzelnen aufgeführt.

Die Kalibrierung des Modells erfolgte mit Hilfe eines Ersatzsystems, das aus 36 Teilflächen bestand. Jede Teilfläche hatte eine Größe von einem Quadratkilometer und repräsentierte eine der Bodenklassen, die zusätzlich noch entsprechend der Art der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung (konservierend und konventionell) differenziert wurde. In Abbildung 58 ist das beschriebene Ersatzsystem zur Kalibrierung abgebildet. Beim Entwurf dieses Ersatzsystems stand die Abflussbildung der Böden im Vordergrund. Die Aspekte Abflusskonzentration und Abflusstransport wurden für die Kalibrierung der Bodenklassen nicht berücksichtigt.

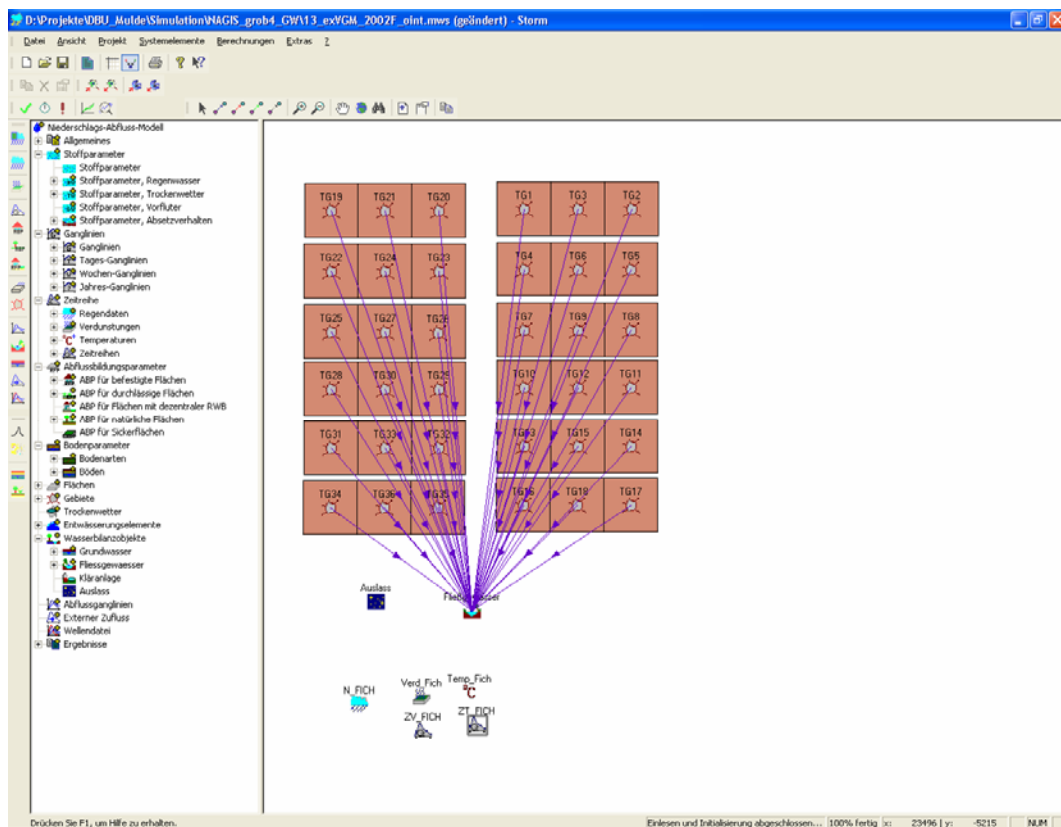


Abbildung 58: Ersatzsystem für die Kalibrierung der Modells STORM

Die Kalibrierung des Einflusses der Art der Bodenbearbeitung auf die Infiltrationseigenschaften des Bodens erfolgte in Anlehnung an eine umfangreiche Literaturstudie, die von ZIMMERLING (2004) durchgeführt wurde. Hier konnte festgestellt werden, dass die konservierende Bodenbearbeitung bei intensiver Beregnung in einer mittleren Erhöhung des Infiltrationsvermögens um 14 % resultiert. Diese Angabe wurde als Zielgröße für die Kalibrierung der konzeptionellen bodenhydraulischen Parameter zur Beschreibung der Verschlämmung und Makroporeninfiltration verwendet.

Tabelle 15: Kennwerte der 18 Bodengruppen

Beschreibung der Bodenklasse	Klassenkürzel	Anzahl der Bodenschichten	Mächtigkeit der 1. Schicht [m]	Mächtigkeit der 2. Schicht [m]	Mächtigkeit der 3. Schicht [m]	Bodenart der 1. Schicht	Bodenart der 2. Schicht	Bodenart der 3. Schicht	Gesamt-mächtigkeit [m]	Anteil im Mulde Einzugsgebiet [%]	Flurabstand [m]	vorherrschender Bodentyp	Bodenkategorie
Gley-Vega, mit schlechtem Infiltrationsvermögen	G1	2	0,20	1,10		Ls3	Ls3		1,30	1,50 %	< 0,8	GG-AB	Grundwasserbeeinflusste Böden
Auenböden und Gleye mit schlechtem Infiltrationsvermögen	G2	2	0,20	1,00		Ut2	Ut2		1,20	5,89 %	< 1,2	GGn	Grundwasserbeeinflusste Böden
Gleye und Pseudogleye mit mäßigem Infiltrationsvermögen	G6	3	0,20	0,60	0,50	Sl2	Sl2	Ss	1,30	1,60 %	< 1,3	SS-GG	Grundwasserbeeinflusste Böden
Gleye mit gutem Infiltrationsvermögen	G8	2	0,10	1,20		Ss	Ss		1,30	1,22 %	< 1,0	GG	Grundwasserbeeinflusste Böden
Grundwasserboden mit hohem Infiltrationsvermögen	G13	3	0,30	0,20	0,90	Sl2	Sl2	Ss	1,40	0,44 %	< 1,2	GG-BB	Grundwasserbeeinflusste Böden
Braunerden mit schlechtem Infiltrationsvermögen	T1	2	0,10	1,00		Ls3	Ls3		1,10	9,76 %	> 2,0	BB	Sickerwasserbeeinflusste Böden
Braunerden mit mäßigem Infiltrationsvermögen	T5	2	0,30	0,70		Ut2	Ut2		1,00	10,47 %	> 2,0	BBn	Sickerwasserbeeinflusste Böden
Braunerden mit mittlerem Infiltrationsvermögen	T6	2	0,30	0,70		Sl4	Sl4		1,00	1,87 %	> 2,0	BBn	Sickerwasserbeeinflusste Böden
Braunerden mit gutem Infiltrationsvermögen	T13	2	0,30	0,70		Sl2	Sl2		1,00	1,81 %	> 2,0	BBn	Sickerwasserbeeinflusste Böden
Braunerden mit hohem Infiltrationsvermögen	T14	3	0,30	0,10	0,60	Sl2	Sl2	Ss	1,00	9,42 %	> 2,0	BBn	Sickerwasserbeeinflusste Böden
Braunerde-Podsol mit schlechtem Infiltrationsvermögen	T2	2	0,10	0,90		Ls4	Ls4		1,00	8,24 %	> 2,0	BB-PP	Sickerwasserbeeinflusste Böden
Parabraunerde mit gutem Infiltrationsvermögen	T9	3	0,30	0,30	0,40	Ls3	Ls3	Sl4	1,00	7,01 %	> 2,0	LLn	Sickerwasserbeeinflusste Böden
Pseudogley-Parabraunerde mit gutem Infiltrationsvermögen	T7	3	0,30	0,30	0,70	Ut2	Ut2	Lu	1,30	13,90 %	> 2,0	SS-LL	Stauwasserböden
Pseudogley mit schlechtem Infiltrationsvermögen	T3/ T3a	2	0,30	0,70		Ls3	Ls3		1,00	18,27 %	> 2,0	SSn	Stauwasserböden
Pseudogley mit mäßigem Infiltrationsvermögen	T4	3	0,20	0,40	0,50	Slu	Slu	Sl4	1,10	5,27 %	> 2,0	SSn	Stauwasserböden
"Pseudoboden" unter Wasserflächen	GW	1	1,50			TI			1,50	0,22 %	< 0,2	JG	Subhydrischer Böden

Für die Kalibrierung wurden hochwassererzeugende Naturregen aus den Zeiträumen August 2002 und August/September 1995 ausgewählt. Die Niederschlagshöhen dieser Ereignisse sind im oberen Teil der Tabelle 12 aufgeführt. Für die genannten Hochwasserzeiträume lagen Informationen für verschiedene Messstationen des Einzugsgebietes der Mulde vor (siehe Tabelle 12). Die bereitgestellten Niederschlagsdaten erfassen auch das Niederschlagsgeschehen in der Zeit vor dem Hochwasserereignis. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, wurde darauf verzichtet, eine Vorregenperiode zu simulieren und stattdessen das bereits beschriebene Konzept der zeitlich und bodenartspezifisch differenzierten Startwassergehalte (Wassergehalt nach 10 Tage) angewendet. Wie oben beschrieben, ist dieser Startwassergehalt nicht nur bodenartenabhängig, sondern ändert sich auch mit der Art der Bodenbearbeitung. Des Weiteren blieb in diesem Schritt der Kalibrierung der Interflow (lateraler Abfluss in der Matrix) und der horizontale Makroporenfluss (hypodermischer Abfluss) unberücksichtigt.

In Tabelle 16 sind die im Jahresverlauf variablen Bedeckungsgrade (in %) und Interzeptionsspeicher (in mm) aufgeführt, die der Modellierung zu Grunde gelegt wurden. Es handelt sich nicht um vollständige Jahresverläufe, da sich die Berechnungszeiträume auf die Sommermonate beschränken. Bei der Wahl der Bedeckungsgrade wurde auf Literaturangaben zurückgegriffen. Im Parameterkatalog Sachsen des Handbuches für das Computermodell Erosion 2D/3D (MICHAEL et al., 1996) ist eine Zusammenstellung von Monatswerten der Bedeckungsgrade für die verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen zu finden (WICKENKAMP, 1995), welche hier Anwendung fand.

Tabelle 16: Jahrgang der Bedeckungsgrade und Interzeption

	Mai	Juni	Juli	August	September
Bedeckungsgrade [%]					
Ackerflächen, konservierend bearbeitet	50%	60%	90%	90%	60%
Ackerflächen, konventionell bearbeitet	30%	40%	50%	50%	20%
Interzeption [mm]					
Ackerflächen (konservierend oder konventionelle bearbeitet)	2.0	2.3	2.3	1.4	0.6

Die Größe des Interzeptionsspeichers wurde auf Basis der Blattflächenindizes nach HOYNINGEN-HUENE (1983) festgelegt. Bei diesem Parameter wurde keine Differenzierung zwischen konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung vorgenommen. Zwar ist davon auszugehen, dass die erhöhte Mulchauflage konservierend bearbeiteter Flächen den Interzeptionsspeicher geringfügig vergrößert, jedoch fehlten genauere Angaben, um diesen Effekt berücksichtigen zu können.

Sowohl bei der Wahl der Bedeckungsgrade als auch bei der Abschätzung der Interzeption musste von einer mittleren Verteilung der Fruchtarten im Einzugsgebiet ausgegangen werden. Anhaltspunkte für die Verteilung können den InVeKoS-Daten entnommen werden. Die weiteren landnutzungsabhängigen Parameter sind in Tabelle 17: aufgeführt: Zur effektiven durchschnittlichen Durchwurzelungstiefe wurden Angaben aus RENGER (1983) herangezogen. Auch wenn das Modell

STORM die Möglichkeit bietet, der Wurzeltiefe einen Jahresgang zuzuweisen, wurde hierauf verzichtet, weil die kurzen Simulationszeiträume eine zeitliche Differenzierung dieses Parameters überflüssig machten.

Wie ausgeführt, sind die potenzielle vertikale Makroporenflussrate und die Verschlümmungsfaktoren Kalibrierungsparameter. Die beste Übereinstimmung mit den angenommenen Zielgrößen ergab sich bei einer Reduzierung der Größe $pot I_{mac}$ auf den Wert Null.

Tabelle 17: Parameter der Landnutzung bzw. Bodenbearbeitung

Landnutzung, Bodenbewirtschaftung	Wurzeltiefe [m]	potenzielle vertikale Makroporenflussrate $pot I_{mac}$ [mm/h]	landnutzungsbedingter Verschlümmungsfaktor C_{use} [-]
Ackerflächen, konservierend bearbeitet	1.0	12.0	0.9
Ackerflächen, konventionell bearbeitet	1.0	0.0	0.4

In Tabelle 18 ist die von der Korngrößenverteilung abhängige Verschlümmungsneigung der Bodenarten aufgeführt. Informationen zur Verschlümmungsneigung der einzelnen Bodenarten wurden der Methodendokumentation nach HENNINGS (1994) entnommen.

Tabelle 18: Bodenartenabhängige Parameter der Verschlümmung

	bodenartenbedingter Verschlümmungsfaktor für schluffige Bodenarten (Lu, Uls, Us, Ut2, Ut3, Ut4, Uu) C_{soil} [-]	bodenartenbedingter Verschlümmungsfaktor für alle übrigen Bodenarten C_{soil} [-]
Ackerflächen, konservierend bearbeitet	0.75	0.80
Ackerflächen, konventionell bearbeitet	0.40	0.50

Für alle Bodenarten der Oberkrume wurde als maximale Infiltrationskapazität 100 mm/h angenommen. Weil das Modell STORM einen kennlinienbasierten, bodenfeuchteabhängigen Infiltrationsansatz nach HOLTAN (1970) verwendet, wird neben der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit die Angabe eines Maximalwertes dieser Infiltrationskennlinie notwendig.

Die Bestimmung der Infiltrationskapazität bei geringen Wassergehalten (Saugspannung bei $pf = 4,2$) ist nicht unproblematisch, weil je nach Bodenart der Oberkrume bereits kleine Bodenfeuchteänderungen sehr große Saugspannungsänderungen hervorrufen können (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1998). Die Verringerung der Saugspannung führt wiederum zu einer deutlichen Reduktion der Infiltrationskapazität. Strenggenommen ist es daher nicht zulässig, die Bodenfeuchte pro Zeitschritt über die Mächtigkeit der obersten Bodenschicht zu mitteln, wie dies im Bodenwas-

serhaushaltsansatz von STORM der Fall ist. Die Verwendung mittlerer Bodenfeuchten je Bodenschicht und Zeitschritt kann zu erheblichen Überschätzungen der tatsächlichen Infiltrationskapazitäten führen. Die im Modell verwendete maximale Infiltrationskapazität wurde daher als empirischer Kalibrierungsparameter definiert, der die Vereinfachungen des Modellansatzes und des Infiltrationsansatzes nach HOLTAN berücksichtigt. Weil sich die modellierten Infiltrationsprozesse im Saugspannungsbereich zwischen $p_f 2,0$ und Null bewegen, konnte darüber hinaus davon ausgegangen werden, dass der Parameter der maximalen Infiltrationskapazität nur einen geringfügigen Einfluss auf die modellierten Infiltrationsverläufe hat. Mit Blick auf Langzeitsimulationen, in denen die Trockenphasen nach bzw. vor einem Niederschlagsereignis mit betrachtet werden, sind der Infiltrationsansatz und die hier gewählte Parametrisierung jedoch zu überdenken.

6.5.2 Rückhaltevermögen der konservierenden Bodenbearbeitung bei hochwassererursachenden Niederschlagsereignissen

Unter Annahme der in Kapitel 6.5.1 beschriebenen Einstellungen, ergeben sich für die konservierende und konventionelle Bodenbearbeitung folgenden Ergebnisse (siehe auch Abbildung 59 und Abbildung 60).

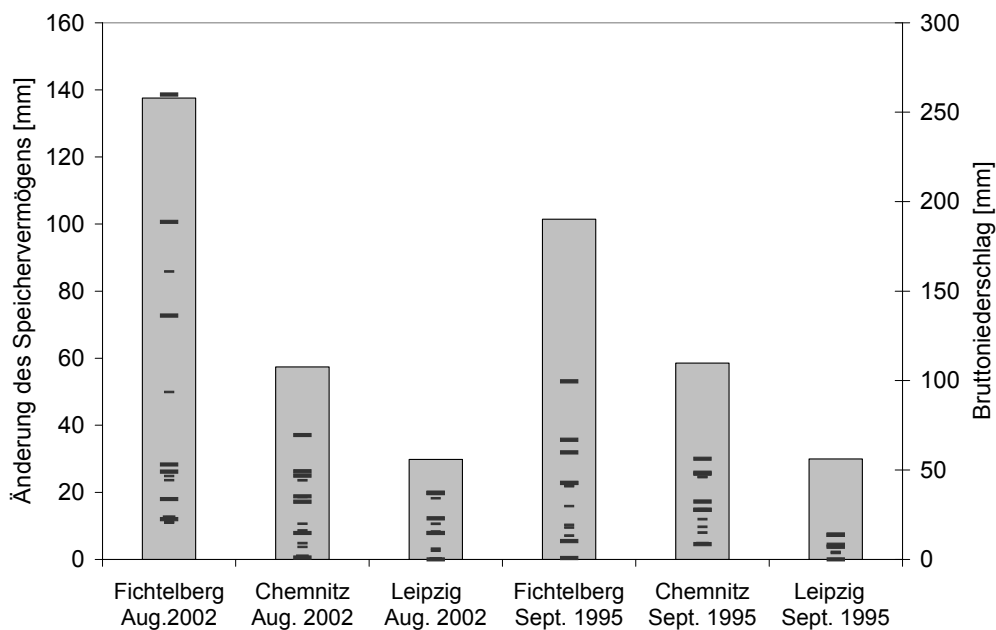


Abbildung 59: Ergebnisse der Testflächensimulation – Änderung des Speichervermögens konservierend bearbeiteter Böden im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (in mm) sowie die Niederschlagshöhe der Ereignisse an den Messstationen (als Säulen)

Abbildung 59 gibt einen Überblick, welche Niederschlagshöhen (in mm) zusätzlich im Boden gespeichert werden können, wenn Ackerflächen von der konventionellen Bodenbearbeitung auf die

konservierende Bodenbearbeitung umgestellt werden. Jede Markierung (Querbalken) repräsentiert die Auswertung der Simulationsergebnisse für eine der 18 vorgestellten Bodenklassen (siehe Tabelle 15). Die Größe der Markierung in Abbildung 59 repräsentiert den Flächenanteil der jeweiligen Bodenklasse im Einzugsgebiet. Die breiteren Markierungen stehen für Bodenklassen, die auf mehr als 7 % der Einzugsgebietsfläche zu finden sind. Dies trifft für sieben der 18 Bodenklassen zu.

Es wird deutlich, dass das zusätzliche Speichervermögen stark von der Niederschlagsbelastung der einzelnen Ereignisse abhängt. Bei großen Niederschlagssummen, wie sie beispielsweise von der Station Fichtelberg im Erzgebirge während des Ereignisses im August 2002 aufgezeichnet wurden, kann der Unterschied zwischen den beiden Bodenbearbeitungsvarianten besonders ausgeprägt sein. Zum Beispiel kann eine Parabraunerde mit hohem Infiltrationsvermögen (T9; siehe Tabelle 15) bis zu 140 mm zusätzlich aufnehmen und in tiefere Bodenschichten weiterleiten, weil die geringere Verschlammung und die zusätzlichen vertikalen Makroporen bei konservierender Bodenbearbeitung zur Wirkung kommen. Die Betrachtung der einzelnen Ereignisse zeigt aber auch die breite Streuung des zusätzlichen Speichervermögens für die verschiedenen Bodenklassen. In Extremfällen können die bodenbearbeitungsabhängigen Unterschiede in der Infiltrationskapazität auch sehr klein ausfallen. Dies ist insbesondere auf den Standorten und bei Niederschlagsereignissen der Fall, bei denen bereits unter konventioneller Bodenbearbeitung ein Großteil des Niederschlags vom Boden aufgenommen werden kann.

In Abbildung 60 sind Berechnungsergebnisse noch einmal in Relation zum Bruttoniederschlag dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass je nach Niederschlagsereignis die mittlere Änderung des zusätzlichen Speichervermögens zwischen 7 % und 16 % der Niederschlagssummen liegt. Die vorausgesetzte Zielgröße der infiltrationserhöhenden Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung von 14 % im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung konnte also durch das Modell abgebildet werden.

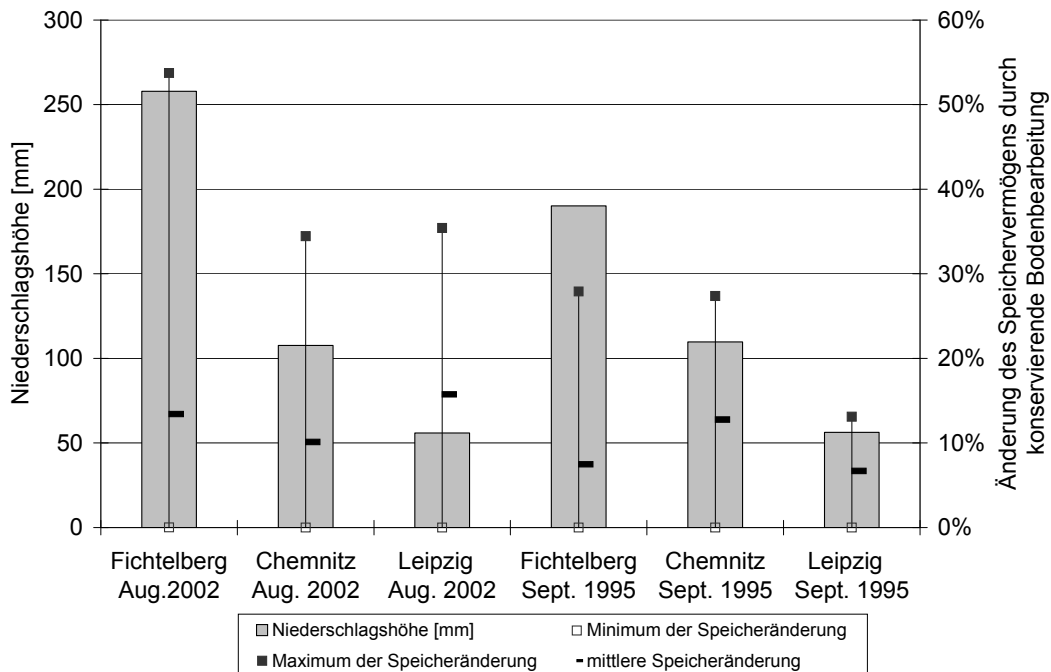


Abbildung 60: Ergebnisse der Testflächensimulation – Änderung des Speichervermögens konservierend bearbeiteter Böden im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (in Prozent der Bruttoniederschlagshöhe des jeweiligen Ereignisses – Bruttoniederschlag als Säulen)

Die dargestellten Testflächenergebnisse wurden auf die in Kapitel 6.2 vorgestellten Szenarien übertragen. Ziel war eine Schätzung des zusätzlichen Speichervolumens, das sich durch eine verstärkte Einführung der konservierenden Bodenbearbeitung erschließen lässt. Zu betonen ist an dieser Stelle, dass die hierdurch bestimmten Quantitäten ausschließlich durch Flächen realisiert werden, die einen langfristigen Rückhalt des infiltrierten Wassers erlauben (langsame Abflusskomponenten) und somit ein „aktiviertes Senkenpotenzial“ entsprechend der in Kapitel 3 beschriebenen Potenzialanalyse des Einzugsgebietes darstellen.

Bei der Übertragung der Testflächenergebnisse auf die Einzugsgebietsebene ist zu beachten, dass die 18 unterschiedlichen Bodenklassen nicht gleichmäßig verteilt und zu sehr in unterschiedlichen Anteilen im Einzugsgebiet der Mulde auftreten (Tabelle 15). Somit sind große Differenzen des Speichervermögens bestimmter Bodenklassen nur dann für den Hochwasserschutz im Einzugsgebiet wirksam, wenn diese Böden auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen ausreichend vertreten sind.

Des Weiteren ist festzuhalten, dass die größten aufgezeichneten Niederschlagshöhen im Erzgebirge (im Süden des Einzugsgebietes) auftreten. Hier ist der Anteil der Ackerflächen jedoch deutlich geringer als im Mittel- und Unterlauf des Einzugsgebietes. (vgl. Abbildung 48). Um die Auswirkungen

gen dieser mehrfach ungleichmäßigen räumlichen Verteilungen erfassen zu können, wurde eine GIS-Analyse durchgeführt.

In Abbildung 61 ist am Beispiel der beiden berechneten Hochwasserereignisse im September 1995 und im August 2002 dargestellt, wie viel Niederschlagsvolumen auf den ausgewählten 1 785 km² Ackerfläche des Muldegebietes gespeichert werden kann. Neben dem in Kapitel 6.2.2 beschriebenen Szenario, einer 20 %-igen Erhöhung des Anteils der konservierenden Bodenbearbeitung, sind dem Ist-Zustand zwei weitere Extremszenarien gegenübergestellt worden. Wie beschrieben, ist bei der Auswahl der zusätzlich konservierend bearbeiteten Flächen einmal nach dem Zufallsprinzip und einmal gezielt nach der Wasserrückhaltefähigkeit der Ackerflächen vorgegangen worden. Die Ergebnisse für beide Szenarien sind in Abbildung 61 und Abbildung 62 dargestellt.

Abbildung 62 zeigt die Veränderungen gegenüber dem Ist-Zustand. In Abhängigkeit vom jeweiligen Hochwasserereignis könnten bei der Umsetzung des Szenarios zwischen 4,6 Mio m³ und 7,1 Mio. m³ Niederschlag zusätzlich im Einzugsgebiet gespeichert werden und damit dauerhaft der Hochwasserwelle entzogen werden. Der Vergleich zwischen den beiden Szenarien mit 20 % mehr konservierender Bodenbearbeitung zeigt, dass durch gezielte Auswahl der geeigneten Standorte das Szenario zusätzlich optimiert werden könnte. Während des Hochwasserereignisses im August 2002 könnten bei qualifizierter Auswahl der Umsetzungsflächen 1,2 Mio. m³ mehr Niederschlag zurückgehalten werden, als bei einer zufälligen Auswahl der Standorte. Es ist jedoch kritisch anzumerken, dass sich damit die Umstellung der Bodenbearbeitung und die Aktivierung der Senkenpotenziale auf einzelne Regionen im Einzugsgebiet beschränken würden. Dies widerspricht dem Bestreben, in möglichst vielen Bereichen des Einzugsgebietes hochwasserwirksames Speichervolumen („Senkenpotenzial“) zu schaffen.

Die Ergebnisse für das wenig realistisch erscheinende Szenario „100 % konservierende Bodenbearbeitung“ zeigen die Größenordnung des zurzeit ungenutzten, jedoch theoretisch erschließbaren Senkenpotenzials unter den Ackerflächen des Einzugsgebietes auf. Um bis zu 23 Mio. m³ Abflussvolumen würde das Gewässersystem der Mulde bei einem Niederschlagsereignis, das dem im August 2002 ähnlich wäre, entlastet. Umgekehrt ist festzuhalten, dass eine Rückkehr zu annähernd 100 % konventioneller Bodenbearbeitung die Hochwassersituation während des Hochwassers 2002 verschärft hätte. Es wären 7,9 Mio. m³ Niederschlag zusätzlich als schneller Oberflächenabfluss von den betrachteten Ackerflächen den Gewässern zugeflossen.

In Tabelle 19 ist dargestellt, welche mittleren Abflussbeiwerte sich auf den 1 785 km² Ackerfläche bei den unterschiedlichen Szenarien ergeben. Der verhältnismäßig geringe Abflussbeiwert von knapp 30 % im Ist-Zustand beim Hochwasser im August 2002 ist mit der Standortauswahl im Zuge der Szenarientwicklung zu erklären. Wie beschrieben, beschränkte sich die Standortauswahl auf Flächen mit hohen Wasserrückhaltepotenzialen, d. h. hohen Speicherpotenzialen und geringe Abflussbeiwerten. Hinzu kommt, dass im Unterlauf des Mulde-Einzugsgebietes – hier findet sich ein

deutlich größerer Anteil von Flächen mit hohem Wasserrückhaltepotenzial – nicht so extreme Niederschlagshöhen beim Hochwasser 2002 aufgetreten sind wie im Erzgebirge (vgl. Tabelle 12).

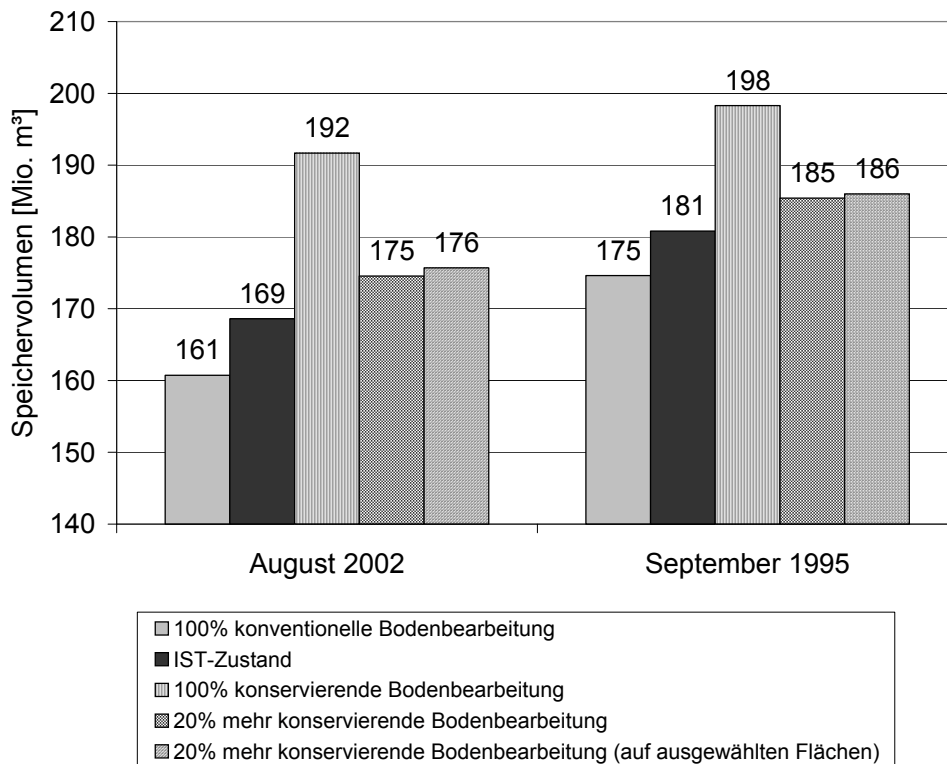


Abbildung 61: Summe des Speichervolumens (in Millionen m³) auf ausgewählten Ackerflächen im Einzugsgebiet der Mulde

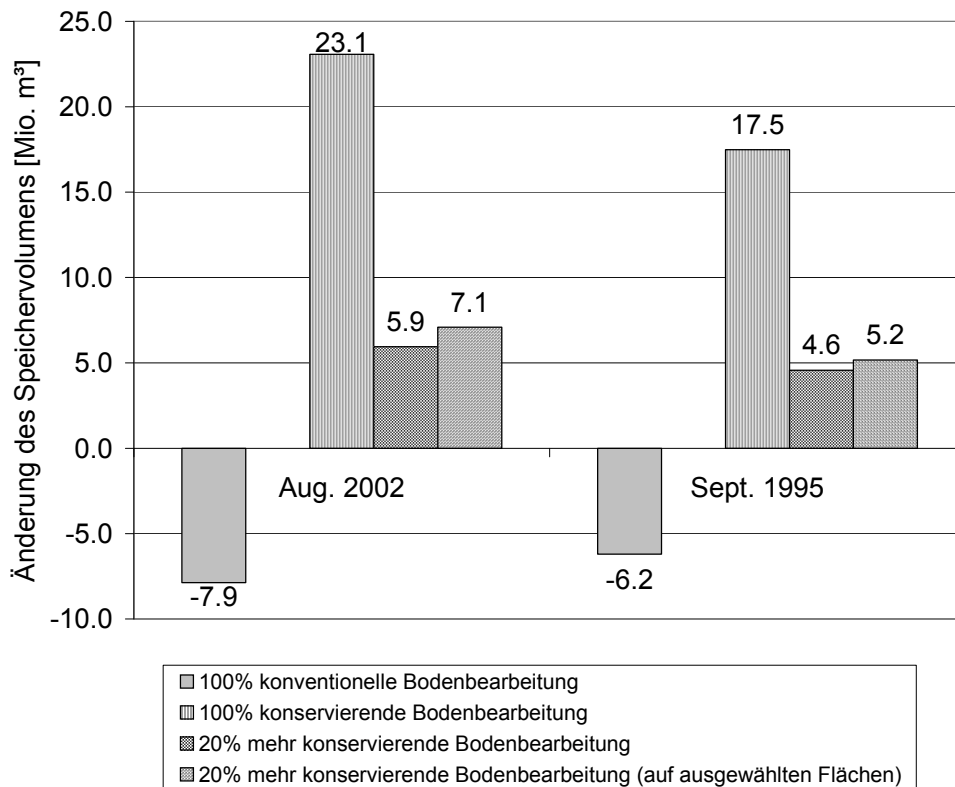


Abbildung 62: Änderung des Speichervolumens (in Millionen m³) auf ausgewählten Ackerflächen im Verhältnis zum Ist-Zustand

Tabelle 19: Mittlere Abflussbeiwerte auf den betrachteten Flächen

Szenario:	August 2002	September 1995
100% konventionelle Bodenbearbeitung	32,4%	17,4%
IST-Zustand	29,1%	14,4%
100% konservierende Bodenbearbeitung	19,4%	6,2%
20% mehr konservierende Bodenbearbeitung	26,6%	12,3%
20% mehr konservierende Bodenbearbeitung (auf ausgewählten Flächen)	26,1%	12,0%

Analog zur Auswertung des siedlungswasserwirtschaftlichen Szenarios wurde für 30 definierte Teileinzugsgebiete (siehe Abbildung 45) das aktivierte Senkenpotenzial berechnet, um den einzugsgebietsspezifischen Einfluss der ungleichmäßigen Verteilung von Umsetzungspotenzialen, Bodenklassen und Überregnung zu verdeutlichen.

Abbildung 63 zeigt aufbereitete Ergebnisse des Szenarios „20 % mehr konservierende Bodenbearbeitung“ während des Niederschlagsereignisses vom August 2002. Deutlich sichtbar wird hier der Effekt der großen Umsetzungspotenziale im Mittel- und Unterlauf und der hohen Wasserrückhaltepotenziale in den Bereichen, die insgesamt 7.1 Mio. m³ zusätzliches Speichervolumen in den nördlichen Teilgebieten konzentrieren. Ein ähnliches Bild ergibt für das Niederschlagsereignis im

September 1995 (siehe Abbildung 64), bei dem insgesamt 5.2 Mio. m³ zusätzlichen Speichervolumen aktiviert werden würde.

Die Abbildung 65 repräsentiert die Addition der in Abbildung 50 und Abbildung 63 dargestellten Senkenpotenziale aus dem landwirtschaftlichen Szenario „20 % mehr konservierende Bodenbearbeitung“ und dem siedlungswasserwirtschaftlichen Szenario „15 % mehr dezentrale Regenwasserbewirtschaftung“, die zusammen 11.5 Mio. m³ Senkenpotenzial aktivieren könnten. In diesem konkreten Fall ergänzen sich die Szenarien sehr gut, da die Senkenpotenziale durch landwirtschaftliche Maßnahmen in anderen Bereichen des Einzugsgebietes liegen, als die durch dezentrale Regenwasserbewirtschaftung erschlossenen Senkenpotenziale. Diese Darstellung unterstreicht die Notwendigkeit, das quantifizierte und lokalisierte Senkenpotenzial (siehe Kapitel 3) durch unterschiedliche Maßnahmen und unter unterschiedlichen Landnutzungen zu aktivieren.

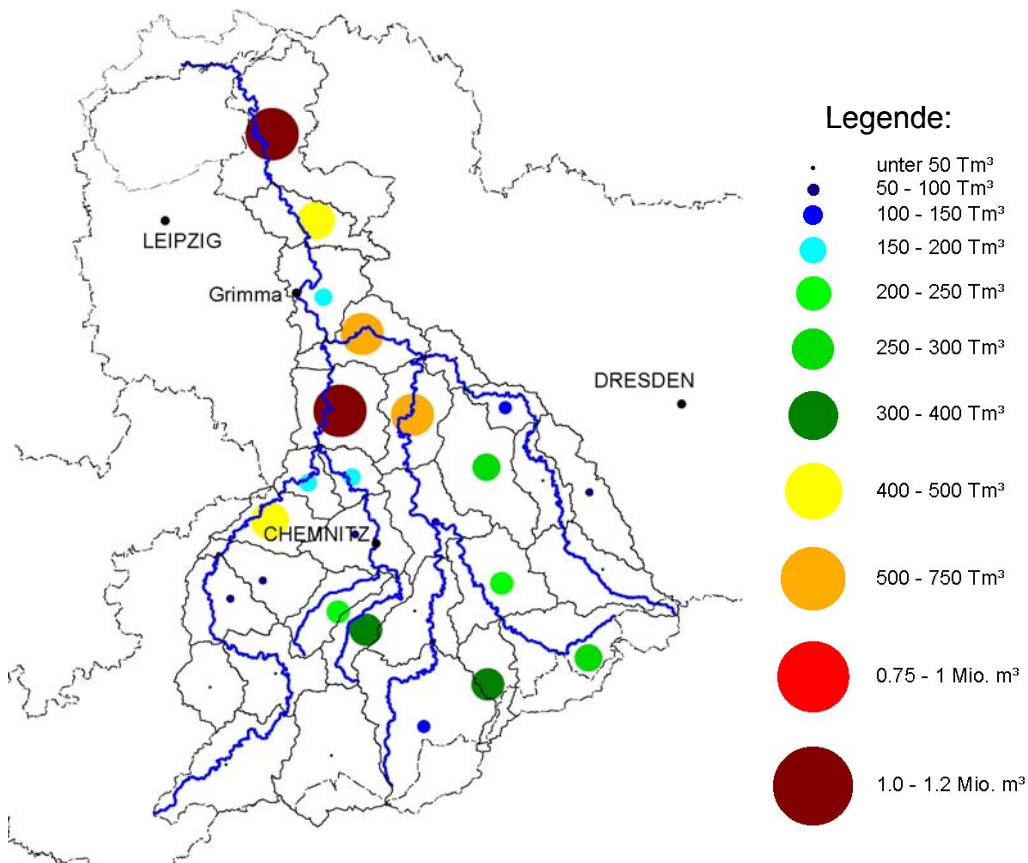


Abbildung 63: Räumliche Verteilung des zusätzlichen Speichervolumens (Senkenpotenzials) - Szenario: 20 % mehr kons. Bodenbearbeitung; Ereignis August 2002

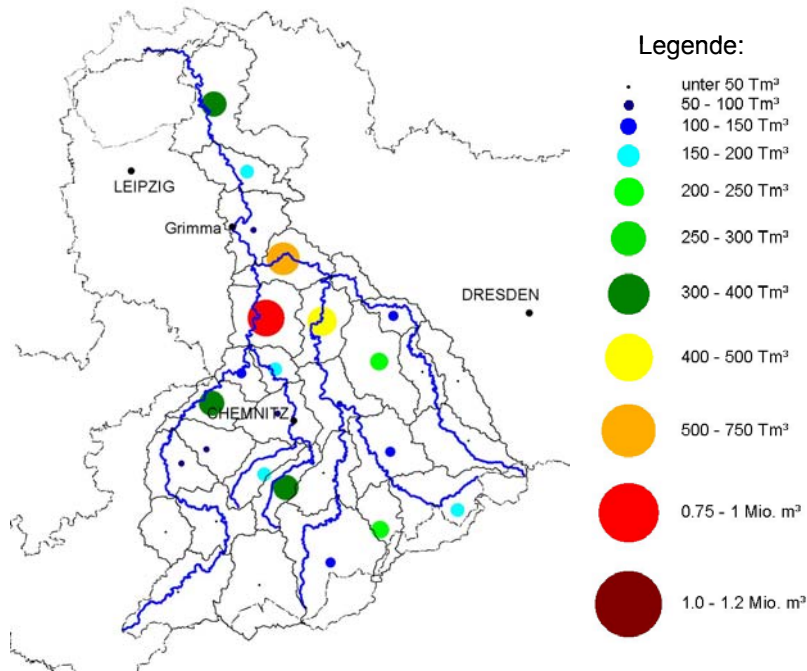


Abbildung 64: Räumliche Verteilung des zusätzlichen Speichervolumens (Senkenpotenzials) - Szenario: 20 % mehr kons. Bodenbearbeitung; Ereignis September 1995

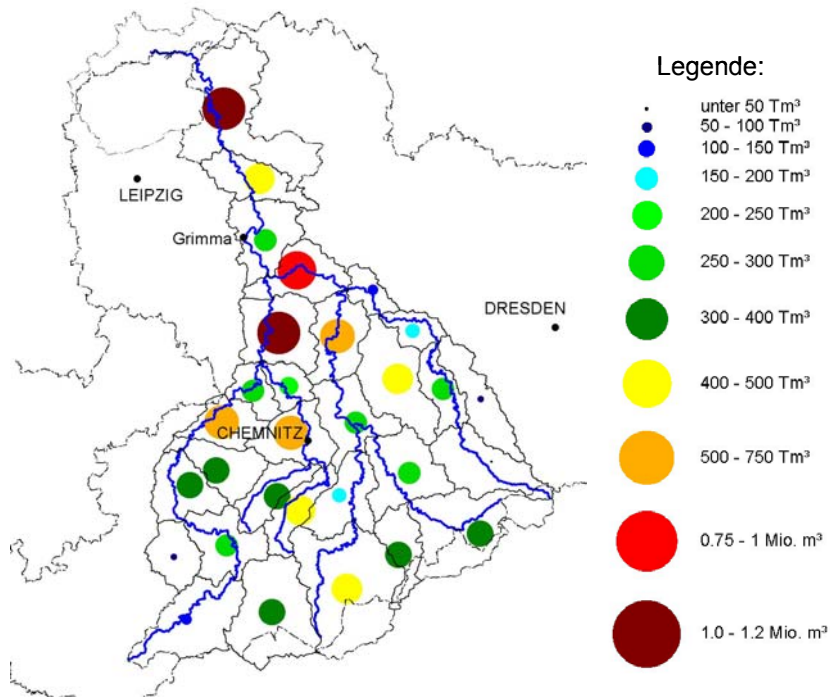


Abbildung 65: Räumliche Verteilung des zusätzlichen Speichervolumens (Senkenpotenzials) - Szenario: 20 % mehr kons. Bodenbearbeitung und 15 % Abkopplung von Siedlungsflächen; Hochwasser August 2002

6.6 Hydrologische Berechnung der Hochwasserabflüsse im Ist-Zustand und unter Berücksichtigung von Umsetzungsszenarien

Die bisherigen Betrachtungen und Ergebnisse beziehen sich auf Bestimmung von Speichervolumina (Senkenpotenziale), die sich durch Maßnahmen in der Fläche im Bereich der Landwirtschaft und im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft systematisch erschließen lassen. Welche Abfluss- und Hochwasserscheitelreduktion durch die geschaffenen Speichervolumina auf konkrete Ereignisses zu erwarten ist, kann unabhängig vom betrachteten Hochwasserschutzkonzept (Senkenpotenzial oder konventionelle Polder) nur im Rahmen von Einzelfallbetrachtungen und unter Vernachlässigung von im Rahmen des Projektes nicht zu berücksichtigender Prozesse im Gewässer und an Bauwerken (Brücken, Durchlässen, Wehren, Talsperren) geschätzt werden. Durch die Überlagerung von Abflussganglinien, die unterschiedliche Überregnung sowie außergewöhnlichen Fließprozesse im Gewässer verwischen die Effekte der einzelnen Speichermaßnahmen mit Abstand des Beobachtungspunktes (Pegels) zunehmend.

Eine deutliche Verbesserung der Wirkungsanalyse ließe sich mit einer kontinuierlichen Langzeitsimulation und anschließender extremwertstatistischer Auswertung der gewonnenen Ergebnisse erreichen. Die hierfür erforderlichen, angesichts der Ausdehnung des Einzugsgebietes extrem umfangreichen Datengrundlagen, konnten im Rahmen dieses Projektes nicht ermittelt werden. Um trotz allem eine Abschätzung der Wirkung der vorgestellten Szenarien auf den Abfluss und die Hochwasserstände an ausgewählten Pegeln vornehmen zu können, wurde das Modell STORM verwendet, um eine überschlägige Nachbildung der Hydrologie des Einzugsgebietes der Vereinigten Mulde mit seinem Gewässersystem zu erreichen. Für die hydrologische Modellierung des Einzugsgebietes waren neben den in Kapitel 6.4 und 6.5 aufgeführten Parametern zur Abflussbildung weitere Systemparameter zu ermitteln und zu kalibrieren:

6.6.1 Räumliche Gliederung des Einzugsgebietes

In einem ersten Schritt wurde die Modellierung auf einen Ausschnitt des Muldeinzugsgebietes beschränkt, um auf vergleichsweise überschaubarer Skalenebene erste Kalibrierungen durchführen zu können. Ausgewählt wurde hierzu das Einzugsgebiet des Lungwitzbaches im Mittellauf der Zwickauer Mulde, zwischen den Städten Chemnitz und Zwickau gelegen. Der Lungwitzbach mündet bei Glauchau in die Zwickauer Mulde und hat ein Einzugsgebiet von 137 km². Für die Modellierung wurde das Einzugsgebiet in 25 Teileinzugsgebiete eingeteilt (siehe Abbildung 67 und 68). Das Gebiet verfügt über keine nennenswerten Speicherbauwerke. Am Gebietsauslass befindet sich eine Pegelstation des LfUG (Niederlungwitz), die die Wasserstände des Lungwitzbaches mit hoher zeitlicher Auflösung aufzeichnet.

Das gesamte, durch das Modell erfasste Einzugsgebiet der Mulde wurde für die Modellierung in 30 Teileinzugsgebiete eingeteilt (siehe Abbildung 45, Abbildung 67 und Abbildung 70) und umfasst 5 442 km².

6.6.2 Abflusstransport

Die Gerinnelängen und das mittlere Sohlgefälle der Gewässerabschnitte der Teilgebiete wurden dem Digitalen Gewässernetz des LfUG entnommen. Für die verschiedenen Gewässerabschnitte wurden repräsentative Gerinnequerprofile und Rauheiten angenommen.

6.6.3 Abflussretention

Zur Abbildung der Retention der oberflächennahen Abflusskomponenten wurden basierend auf dem digitalen Geländemodell Zeitflächenfunktionen berechnet. Zusätzlich wurden für den Oberflächenabfluss, den horizontalen Makroporenfluss, den Interflow sowie den Basisabfluss Retentionskonstanten in Abhängigkeit der Teileinzugsgebietsgröße gewählt.

6.6.4 Abflussbildung

Zur Abbildung der ungleichmäßigen Überregnung wurden den Teileinzugsgebieten acht unterschiedliche Niederschlagsstationen zugewiesen. Neben den bereits vorgestellten Stationen Chemnitz, Fichtelberg und Leipzig wurden die Niederschlagsdaten der Stationen Carlsfeld, Marienberg, Nossen, Oschatz und Zinnwald berücksichtigt.

Die Festlegung von Art und Verteilung der verschiedenen Landnutzungen erfolgte auf der Grundlage des vorliegenden digitalen Landschaftsmodells (ATKIS-DLM). Die dokumentierten Landnutzungen wurden zu zwölf Landnutzungsklassen zusammengefasst (siehe Tabelle 20 - die Landnutzungsklasse „Sättigungsfläche“ wurde nicht vergeben).

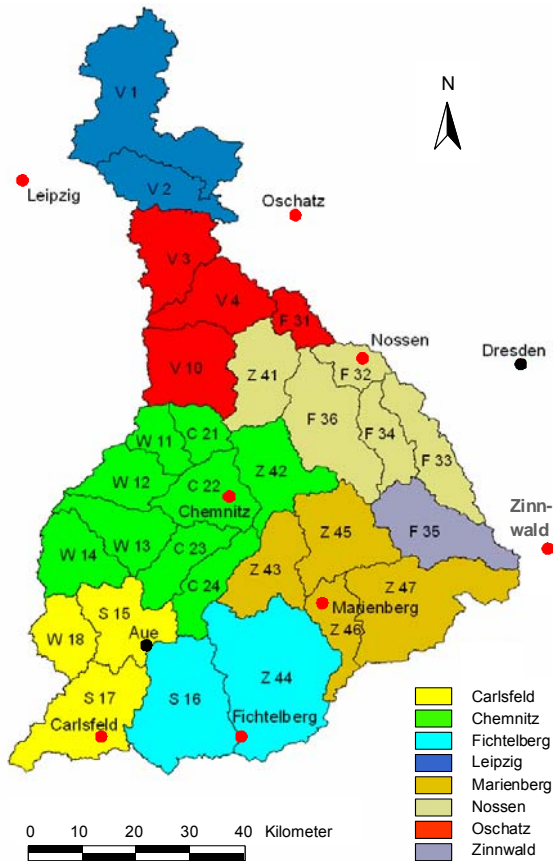


Abbildung 66: Zuordnung der Niederschlagsdaten der Klimastationen zu den Teilgebieten

Tabelle 20: Modellierungsparameter der Landnutzungsklassen

Landnutzungs-klasse	Klassenkür-zel	Versiege-lungs-grad [%]	Rauheit [$m^{1/3}/s$]	mittlerer Bedeckungs-grad [%]	Wurzeltiefe [m]	Interzepti-onsspeicher [mm]	
Laubwald	WLAUB	0.8	5	100	1.5	5	
Mischwald	WMIX	0.8	5	100	1.5	6	
Nadelwald	WNAD	0.8	5	100	1.5	7	
Grünland	GRUNL	1.2	8	80	0.9	2	
Acker	ACKER	siehe Tabelle 16 und Tabelle 17:					
Brache	BRACH	2.8	10	20	0.9	2	
Sättigungsfläche	SATTF	32	10	80	0.9	2	
Garten	GARTE	2	12	50	0.9	2	
Sonderkult	SKULT	2	12	30	0.9	2	
Siedlungsgrün	SIEDG	2	13	80	0.9	2	
Siedlung	SIED	12	15	50	0.5	2	
Verkehr	VERK	20	20	50	0.5	2	
Wasser	WASS	40	35	50	0.1	0.1	

In der Summe setzen sich das hydrologische Modell des Lungwitzbaches aus 1 217 und das Modell für die Mulde aus 4 173 hydrologischen Einheiten zusammen. Hinzu kamen für jedes Teileinzugsgebiet die versiegelten Flächen, die zu einer Einzelfläche zusammengefasst wurden und deren Abflussbildung ohne Berücksichtigung des Bodenwasserhaushaltes nach der Grenzwertmethode (IPS, 2006) gerechnet wurde. In Abbildung 68 ist das STORM-Ersatzsystem für den Lungwitzbach in seiner Modellumgebung dargestellt.

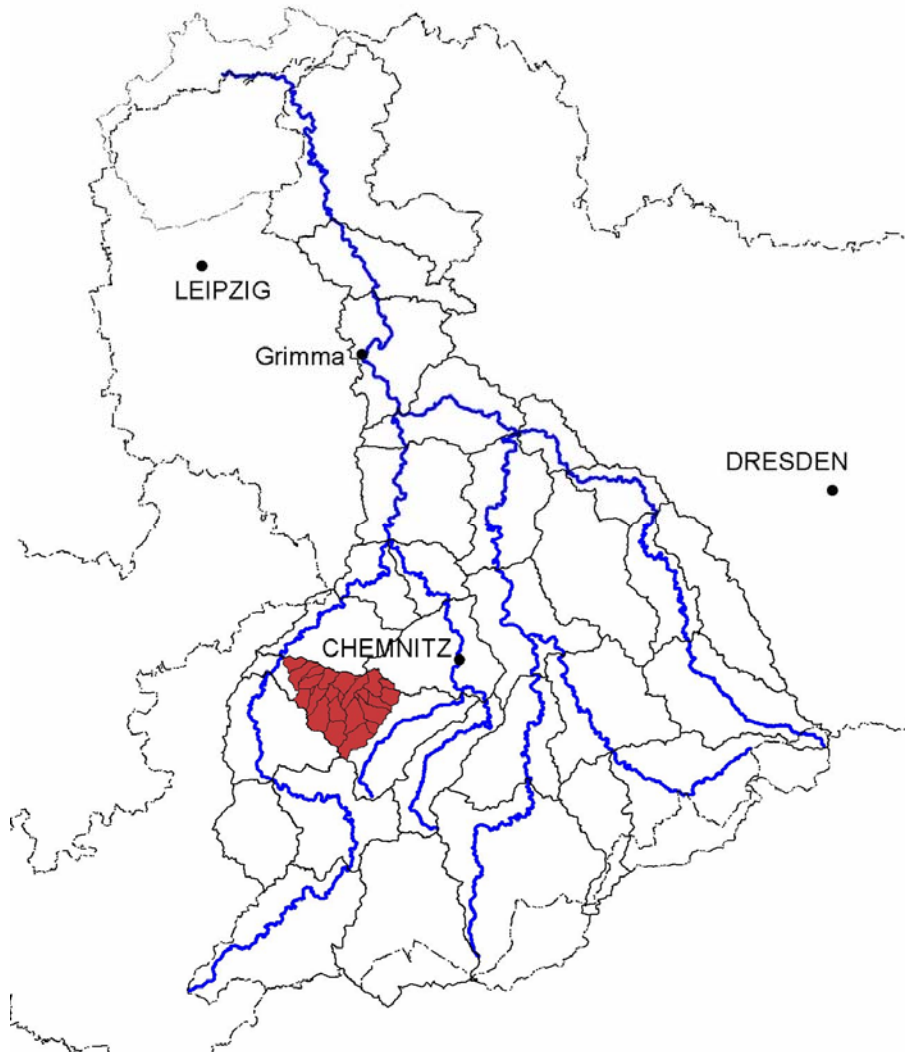


Abbildung 67: Teileinzugsgebietseinteilung und Lage des Lungwitzbaches

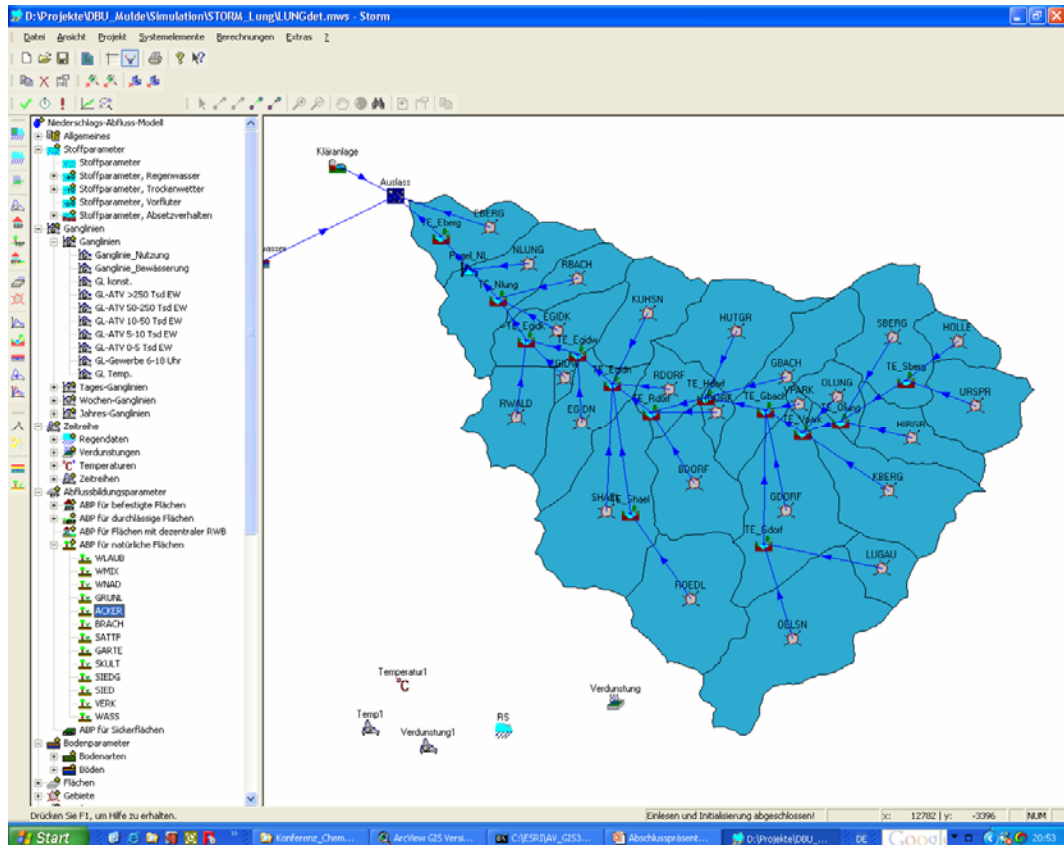


Abbildung 68: Hydrologisches STORM-Ersatzsystem für den Lungwitzbach

6.6.5 Kalibrierung des Niederschlag-Abfluss-Modells

Im Rahmen der Kalibrierung wurden insbesondere die Retentionsparameter der Abflusskomponenten angepasst. Das Ergebnis der Kalibrierung für das Einzugsgebiet des Lungwitzbaches ist in Abbildung 69 dargestellt. Die Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Abflussganglinie ist nur in Abschnitten befriedigend. Dies ist zum Großteil der Güte der Niederschlagsdaten zuzuschreiben. Der Gebietsniederschlag konnte nur ansatzweise abgebildet werden, da als einzige Informationsquelle für diese Region die Wetterstation Chemnitz zur Verfügung stand, die nicht im Einzugsgebiet der Lungwitzbaches liegt. Des Weiteren muss davon ausgegangen werden, dass eine detailliertere Abbildung des Gewässernetzes mit ggf. vorhandenen, jedoch nicht bekannten Kleinspeichern oder Retentionsflächen in den Auen zur Verbesserung der Modellierungsergebnisse beigetragen hätte.

Ein ebenfalls unbeachteter Aspekt in dieser hydrologischen Modellierung sind die Speicher- und Entlastungsbauwerke der Siedlungsentwässerung. Die Entlastungsabflüsse aus der Misch- und Trennkanalisation werden von Pegeln kleinerer Einzugsgebiete wie dem des Lungwitzbaches, teilweise als separate Hochwasserspitzen erfasst und können somit nur bei Berücksichtigung dieser Bauwerke abgebildet werden (IPS, 2006a; ZIMMERMANN, 2005).

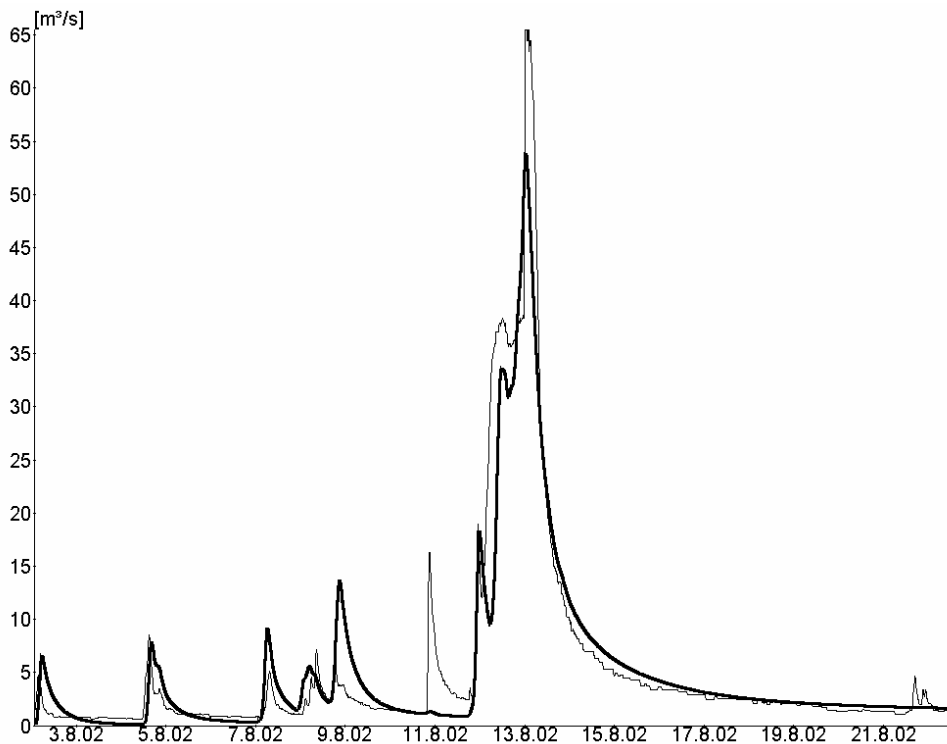


Abbildung 69: Gemessene und berechnete Abflussganglinie am Pegel Niederlungwitz während des Hochwassers im August 2002 (fette Linie: STORM-Berechnung; dünne Linie: Pegelganglinie)

Aufbauend auf den Erkenntnissen zur Parametrisierung des Modells für den Lungwitzbach wurde das STORM-Ersatzsystem für die Mulde aufgestellt und kalibriert (siehe Abbildung 70). Abbildung 71 zeigt das Ergebnis der entsprechenden Modell-Kalibrierung. Als Kalibrierungspegel wurde der Pegel Golzern gewählt, weil lediglich für diesen Pegel Abflussdaten mit hohen zeitlicher Auflösung vorlagen. Der Vergleich der berechneten Ganglinie mit den gemessenen Abflusswerten zeigt eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung, insbesondere wenn berücksichtigt wird, dass die zahlreichen Speicherbauwerke des Einzugsgebietes (LFUG, 1997) nicht Teil des STORM-Ersatzsystems sind. Der Grund für die Nichtberücksichtigung der Speicher, die wichtige Elemente des Hochwasserschutzes im Einzugsgebiet darstellen, ist in der hier lückenhaften Datengrundlage zu den Bauwerkseigenschaften und den konkreten Angaben zu Füllständen und Steuerung während des Hochwasserereignisses zu sehen. Das Fehlen der Speicher im Modell würde sich insbesondere beim Vergleich mit Pegeldaten im Mittel- und Oberlauf der Mulde bemerkbar machen, weil sich dort das Gros der Speicher und Talsperren befindet. Weil es in dieser Untersuchung jedoch nicht um eine möglichst detaillierte Abbildung historischer Ereignisse geht, sondern vielmehr um einen übersichtlichen Vergleich verschiedener Landnutzungs-Szenarien, erschien dieser Mangel im Ersatzsystem als akzeptabel.

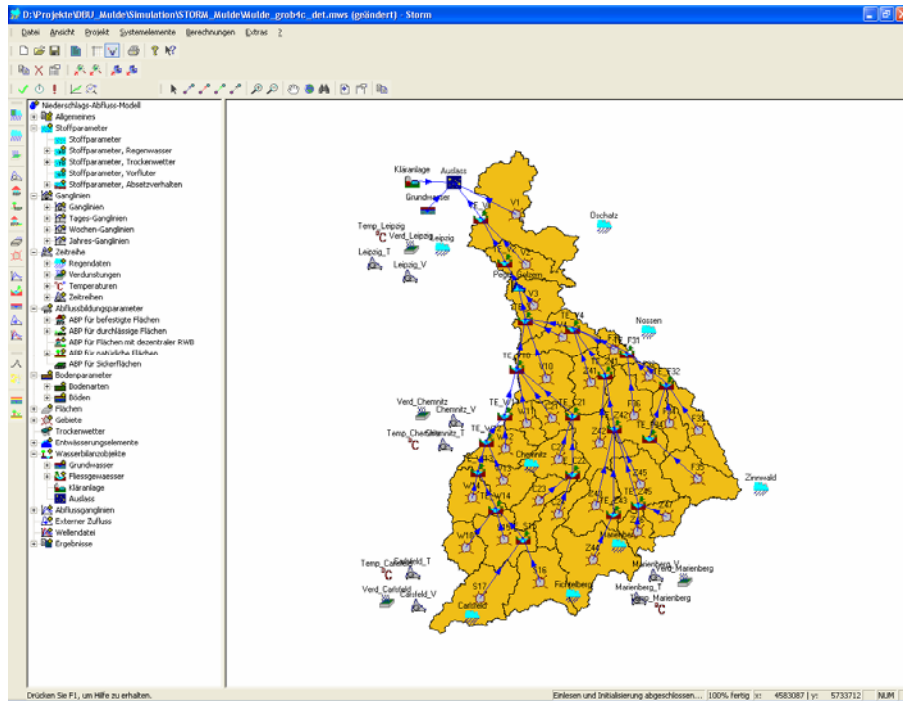


Abbildung 70: Hydrologisches STORM-Ersatzsystem des Einzugsgebiet der Mulde

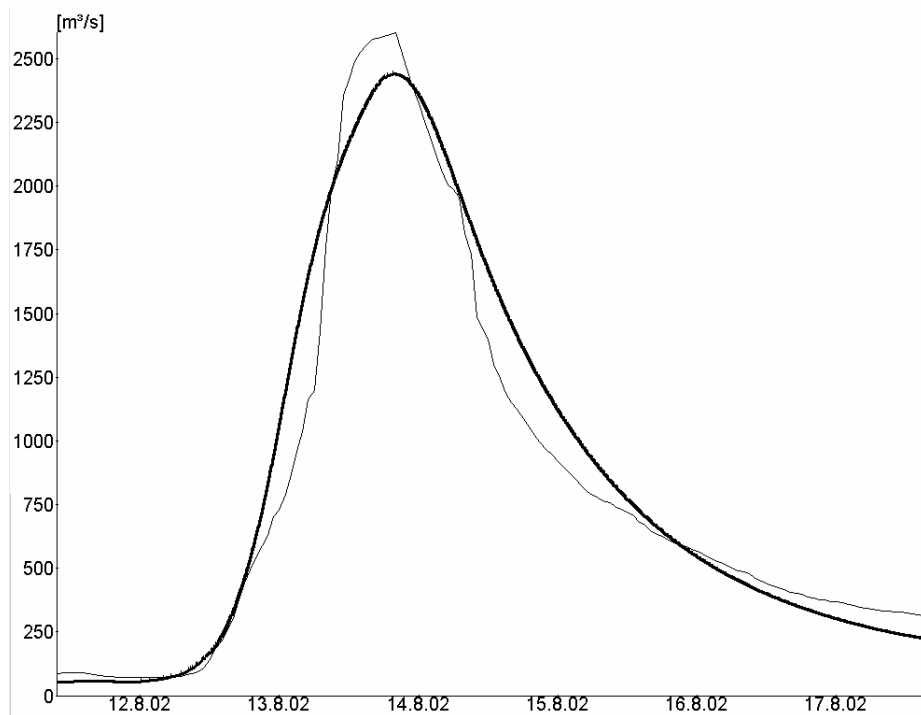


Abbildung 71: Gemessene und berechnete Abflussganglinie am Pegel Golzern (unterhalb der Stadt Grimma) während des Hochwassers im August 2002 (fette Linie: STORM-Berechnung; dünne Linie: Pegelganglinie)

Ausgehend von den oben dargestellten Ist-Zuständen wurden die STORM-Modelle so umgestellt, dass die in Kapitel 6.2 und 6.4 vorgestellten Szenarien hydrologisch berechnet werden konnten. Hierzu wurden die erläuterten Modellansätze verwendet und auf die im GIS ausgewählten Flächen angewandt.

6.6.6 Ergebnisse der hydrologischen Modellierung

In Tabelle 21 und Tabelle 22 sind die durch die Modellierung prognostizierten Veränderungen des Abflusses und des Wasserstandes am Pegel Niederlungwitz bzw. am Pegel Golzern zusammengestellt, die sich unter Annahme der einzelnen Szenarien ergeben. Die Werte des Ist-Zustands in den Tabellen entsprechen nicht den Simulationsergebnissen, sondern sind dem hydrologischen Handbuch bzw. den bereitgestellten Pegelaufzeichnungen entnommen worden.

Es wird deutlich, dass der reduzierende Effekt, bezogen auf die Spitzenabflüsse bei der Kombination aus siedlungswasserwirtschaftlichen und landwirtschaftlichen Szenarien, am größten ist. Allerdings ist die relative Reduktion im Verhältnis zum Ist-Zustand begrenzt. Des Weiteren ist erkennbar, dass die Kopplung der Szenarien keine Addition der Abflussreduktionen der Einzelmaßnahmen zur Folge hat. Da die landwirtschaftlichen und siedlungswasserwirtschaftlichen Szenarien unterschiedliche Abflussprozesse beeinflussen, kann nicht davon ausgegangen werden, dass deren Retentionswirkung an den betrachteten Pegeln zum gleichen Zeitpunkt auftreten und sich damit nicht vollständig überlagern.

Bei einem anderen Niederschlagsereignis mit anderem zeitlichen und räumlichen Verlauf ist es möglich, dass die Auswirkungen größer oder noch geringer sind als die hier dargestellten. Es gilt die bereits eingangs erwähnte Einschränkung, dass es sich hierbei um Einzelfallbetrachtungen handelt und eine bessere Bewertung nur durch eine Langzeitsimulation zu realisieren ist. Im Rahmen einer Langzeitsimulation wird eine Vielzahl unterschiedlicher Niederschlagskonstellationen in Kombination mit den verschiedensten Eingangsbedingungen berechnet. Aus der Gesamtheit dieser Ergebnisdaten ließe sich nach statistischer Auswertung ein objektiveres Bild der Wirkungen erzielen.

Tabelle 21: Abfluss- und Wasserstandsänderungen am Pegel Niederlungwitz am Lungwitzbach

Szenario:	Abfluss [m³/s]		Wasserstand [cm]	
	Aug. 2002	Sept. 1995	Aug. 2002	Sept. 1995
IST-Zustand	65.5	37.9	370	337
20% mehr konservierende Bodenbearbeitung	-1.2	-0.8	-2	-3
	1.7%	2.2%	0.5%	0.9%
15% dez. Regenwasserbewirtschaftung	-1.9		-2	
	2.9%		0.5%	
20% mehr konservierende Bodenbearbeitung und 15% dez. Regenwasserbewirtschaftung	-2.4		-3	
	3.6%		0.8%	
100% konservierende Bodenbearbeitung und 15% dez. Regenwasserbewirtschaftung	-5.0		-5	
	7.6%		1.4%	

Tabelle 22: Abfluss- und Wasserstandsänderungen am Pegel Golzern an der Vereinigten Mulde

Szenario:	Abfluss [m³/s]		Wasserstand [cm]	
	Aug. 2002	Sept. 1995	Aug. 2002	Sept. 1995
IST-Zustand	2604	760	868	510
20% mehr konservierende Bodenbearbeitung	-39	-11	-6	-4
	1.5%	1.4%	0.7%	0.8%
100% mehr konservierende Bodenbearbeitung	-159	-50	-23	-17
	6.1%	6.6%	2.6%	3.3%
15% dez. Regenwasserbewirtschaftung	-19	-21	-3	-7
	0.7%	2.8%	0.3%	1.4%
20% mehr konservierende Bodenbearbeitung und 15% dez. Regenwasserbewirtschaftung	-56	-17	-9	-6
	2.2%	2.2%	1.0%	1.2%
100% mehr konservierende Bodenbearbeitung und 15% dez. Regenwasserbewirtschaftung	-179	-52	-26	-17
	6.9%	6.8%	3.0%	3.3%

6.7 Diskussion der Modellierungsergebnisse

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass siedlungswasserwirtschaftlich veranlasste Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auch eine bisher wenig beachtete positive Nebenwirkung auf die Rückhaltung hochwassererursachender Niederschläge haben. Dieses gilt insbesondere bei Anwendung der sogenannten unvernetzten Mulden-Rigolen-Elemente.

Mit Blick auf die Maßnahmen in der Landwirtschaft ist festzuhalten, dass eine effektive Umsetzung und eine quantitativ-qualitativ sichere, hydrologische Modellierung infiltrationsfördernder Maßnahmen, wie der konservierenden Bodenbearbeitung, nur auf der Grundlage einer genauen Standortanalyse durchgeführt kann. Die Aussagekraft der Modellierungsergebnisse hängt entscheidend davon ab, ob und in welchem Maß die Ergebnisse einer Senkenpotenzialanalyse (siehe Kapitel 3) in die Entwicklung der Umsetzungsszenarien einfließen.

Die methodischen Ansätze und die dargestellten Ergebnisse verdeutlichen jedoch auch, dass die hydrologischen Auswirkungen einer veränderten Bodenbearbeitung auf Ackerflächen zumindest überschläglich quantifizierbar sind. Die gewählten Modellansätze sowie die dazugehörigen Parametersätze erwiesen sich als geeignet, die unterschiedlichen Infiltrationsprozesse bei der konventionellen und der konservierenden Bodenbearbeitung abzubilden.

Die berechneten Speichervolumina erfüllen darüber hinaus die Vorgabe, dass die zu Grunde liegenden Flächen den Niederschlag dauerhaft zurückhalten und damit positive Effekte auf die ablaufenden Hochwasserwellen erzielt werden können. Das als Senkenpotenzial bezeichnete Speichervolumen ist damit zumindest gleichwertig zum Retentionsvolumen zentraler, technischer Speicherbauwerke zu. Die Speicherung im Boden verfügt darüber hinaus über den Vorteil, dass es im Verlauf eines Niederschlagsereignisses zu einer stetigen Entleerung in tiefere Bodenschichten kommt und auf diese Weise das Speichervolumen mit zunehmender Ereignisdauer wächst. Diese Eigenschaft unterscheidet den Bodenspeicher von konventionellen Speicherbauwerken.

Die Bestimmung des aktivierbaren Senkenpotenzials stand bei dieser Untersuchung im Vordergrund, nicht zuletzt, weil auf diese Weise ein relativ einfacher Vergleich mit alternativen Hochwasserschutzmaßnahmen wie beispielsweise Poldern möglich ist. Die Wirkung auf die Spitzenabflüsse und Scheitelwasserstände von extremen, überregionalen Hochwasserereignissen ist begrenzt. Das bedeutet, dass für einen ausreichenden Hochwasserschutz weiterhin auch konventionelle Hochwasserschutzmaßnahmen zur Anwendung kommen müssen, deren Wirkung auf den jeweiligen Unterliegerbereich jedoch ebenfalls nachzuweisen ist. Allerdings sind die Speichervolumina, die durch Maßnahmen in der Fläche im Boden aktiviert werden können so groß, dass sie erheblich dazu beitragen können, die Be- bzw. Überlastung von Hochwasserschutzbauwerken zu vermeiden oder zu vermindern. Für eine Bewertung der Ergebnisse ist unbedingt auf die Größe des hier untersuchten Einzugsgebietes hinzuweisen. Im Falle kleinerer Einzugsgebiete kann die hydrologische Wirkung der dargestellten Maßnahmen auch deutlich stärker ausfallen.

Weil der zeitliche und räumliche Verlauf zukünftiger Niederschlagsperioden nur schwer vorhersehbar ist, ist es von Vorteil, dass die Maßnahmen in der Fläche ihr Senkenpotenzial über große Teile des Einzugsgebietes verteilen können. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass zumindest ein Teil des Senkenpotenzials bei jedem Hochwasserereignis unabhängig von seiner Wiederkehrhäufigkeit und Lage der Entstehungsgebiete genutzt werden kann. Ein Nachteil ist sicherlich, dass die in dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsanlagen und auf landwirtschaftlichen Flächen geschaffenen Senkenpotenziale (bisher) ungesteuerte Speicher repräsentieren und nicht gezielt auf die Kappung von Hochwasserscheiteln optimiert werden können, sondern die Hochwasser-Basisabflüsse positiv beeinflussen.

Für eine weitere vergleichende Wirkungseinschätzung bliebe zu untersuchen, welche Abfluss- bzw. Wasserstandsänderungen von zentralen Maßnahmen mit vergleichbaren Volumina für die betrachteten Pegel zu erwarten sind. Und nicht zuletzt wäre von Interesse zu betrachten, wie sich die relativen Abflussänderungen an anderen Beobachtungspunkten auswirken.

Zu betonen ist an dieser Stelle, dass die vorgestellten Maßnahmen aus der Siedlungswasserwirtschaft, aber vor allem aus der Landwirtschaft über eine Reihe weit über die hydrologische Wirkung hinausgehende, synergetische Effekte besitzen (Naturschutz, Bodenschutz, Bodenwasserhaushalt, s. auch Kapitel 4). Hierdurch steigen die Aussichten einer tatsächlichen Realisierung solcher Maßnahmen. Die Maßnahmen haben darüber hinaus deutlich positive Wirkungen auf die Gewässerqualität, weil mit ihnen eine Reduktion der Oberflächenabflüsse und damit Stoffeinträge in den Gewässern verbunden ist. Sie leisten somit einen wichtigen Beitrag für die Erreichung der Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Im Hinblick auf die prognostizierten Klimaveränderungen gerade auch im sächsischen Raum soll auch auf den zu erwartenden positiven Einfluss der vorgestellten Maßnahmen auf die Niedrigwasserabflüsse hingewiesen werden.

7 Naturschutzfachliche Handlungsempfehlungen zur Ziel- und Maßnahmenentwicklung

7.1 Anlass und Zielsetzung

In den Kapiteln 5 und 6 wurden mit der Potenzialkarte und mit dem Expertensystem FLEXT zwei zentrale Projektbausteine vorgestellt, mit deren Hilfe eine Auswahl und Verortung von dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen im Muldeinzugsgebiet erfolgen kann. Es wurde dargestellt, dass FLEXT die Vorstellung eines über einzugsgebietskonstante Entscheidungsregeln ablaufenden Entscheidungsprozesses zu Grunde liegt. Durch die Abfrage einer hydrologisch-standortkundlichen Wissensdatenbank können für alle Flächen Maßnahmen ermittelt werden, die zur Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens geeignet sind.

Gänzlich unbeachtet bleibt bei dieser Vorgehensweise jedoch, welche Auswirkungen die auf FLEXT basierenden Entscheidungen auf andere Funktionen im Naturhaushalt haben. Werden Maßnahmen allein unter dem Gesichtspunkt des vorbeugenden Hochwasserschutzes umgesetzt, kann es zu Konflikten mit anderen Zielvorstellungen des Naturschutzes kommen. Genauso bleiben potenzielle Synergieeffekte mit anderen Landschaftsfunktionen häufig ungenutzt (vgl. Kapitel 4.2.3).



Abbildung 72: Obwohl die Ackerfläche Bereiche mit besonderer Abflusswirksamkeit und regelmäßigen Erosionsschäden aufweist (Bildvordergrund) erfolgte die Neuanlage eines potenziell retentionswirksamen Biotops wenige Meter davon entfernt (Bildhintergrund) (Foto: Rüter 2004, Krumhermersdorf/Mittleres Erzgebirge)

Werden in Agrarlandschaften vor dem Hintergrund des Hochwasserschutzes Maßnahmen durchgeführt, sollte stets ein größtmöglicher Nutzen für die Vielfalt der Landschaftsfunktionen angestrebt werden. Auf Maßnahmenebene wurden zu diesem Zweck Maßnahmensteckbriefe erarbeitet, die

Hintergrundinformationen aus der Sicht des Hochwasserschutzes und des Naturschutzes als Entscheidungshilfe für die Maßnahmenauswahl und -umsetzung bereithalten (Kapitel 4.2.2).

Die Umsetzung von Maßnahmen sollte stets als Bestandteil der Gesamtentwicklung der Agrarlandschaft erfolgen und die Bedingungen und individuellen Naturschutzziele vor Ort berücksichtigen. Durch die Eingliederung in ein Gesamtkonzept zur Agrarraumgestaltung können wasserrückhaltende Maßnahmen weitere Landschaftsfunktionen erfüllen, besonders im Hinblick auf die natürliche Ertragsfunktion, die Grundwasserdargebotsfunktion und die Biotopfunktion (Kapitel 4.2.3). Deutliche Defizite in der Biotop- und Artenausstattung bei gleichzeitigen Bestandsrückgängen einzelner Tierarten sowie deutliche Unterschreitungen der Umweltqualitätsziele im Bereich des Boden- und des Gewässerschutzes betonen den besonderen Handlungsbedarf in diesen Bereichen (LFUG, 2001).

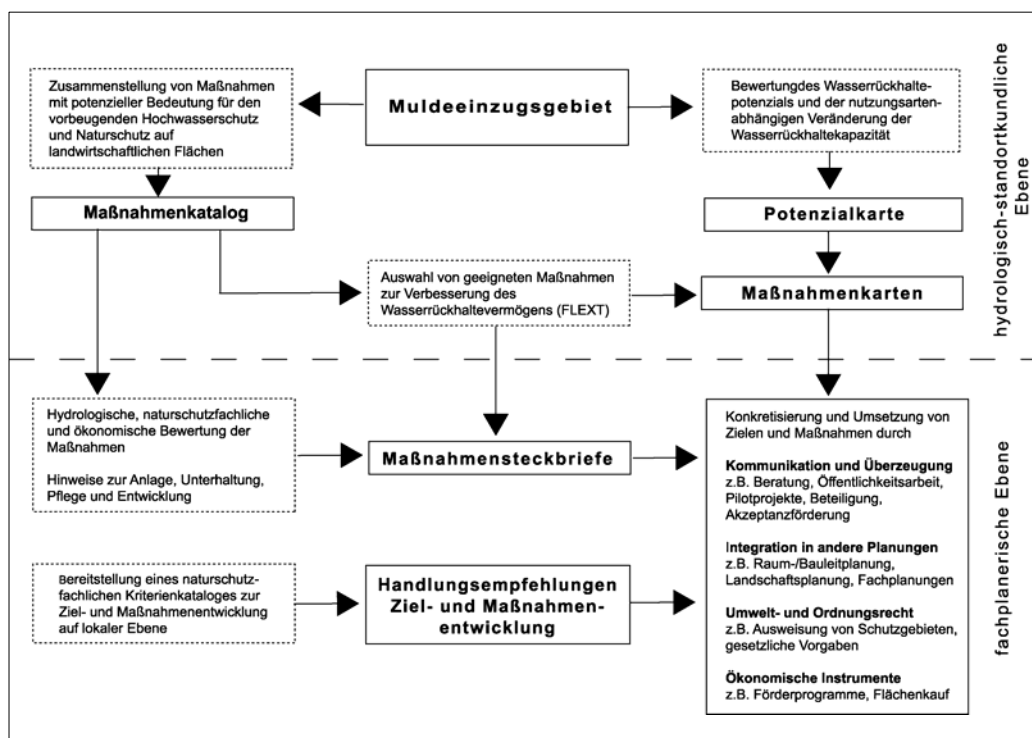


Abbildung 73: Strategiekonzept und Bausteine im Forschungsprojekt HONAMU

Ergänzend zu den Projektbausteinen Potenzialkarte (Kapitel 3.4), Maßnahmenkatalog (Kapitel 4.2), Maßnahmenkarten/FLEXT (Kapitel 5.3) und Maßnahmensteckbriefe (Kapitel 4.2.2) wurde ein naturschutzfachlicher Kriterienkatalog erarbeitet, mit dessen Hilfe eine gezielte Ausnutzung von Synergieeffekten zwischen Hochwasserschutz und Naturschutz in integrativen Ziel- und Maßnahmenkonzepten ermöglicht werden soll (Abbildung 73).

Um den Vorgang der Ziel- und Maßnahmenentwicklung praktikabel, einheitlich und transparent zu gestalten, wurde eine allgemeine methodische Vorgehensweise festgelegt, die im Folgenden in den

Grundzügen dargestellt wird. Die Methodik ist in Teilen angelehnt an die Arbeit von PLACHTER et al. (2003), in der umfangreiche Ausführungen zur schutzgutübergreifenden Zielentwicklung und zum Naturschutz in der Agrarlandschaft enthalten sind. Darüber hinaus sind die Erfahrungen aus Fallstudien eingeflossen, die in repräsentativen Teileinzugsgebieten der Mulde durchgeführt wurden, um die entwickelten methodischen Ansätze zu erproben. Als Untersuchungsgebiete dienten die Einzugsgebiete des Mockritzer Baches, des Klatschbaches und des Krumhermersdorfer Baches (Abbildung 74, Tabelle 23). Auf eine detaillierte Wiedergabe der Ergebnisse der Fallstudien wird an dieser Stelle verzichtet, weil dies den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen würde. Für nähere Informationen wird auf die in Tabelle 23 genannten Arbeiten verwiesen. Es werden stattdessen die übertragbaren methodischen und instrumentellen Bausteine der integrativen Ziel- und Maßnahmenentwicklung dargestellt und anhand von Beispielen aus der Fallstudie Mockritzer Bach verdeutlicht.

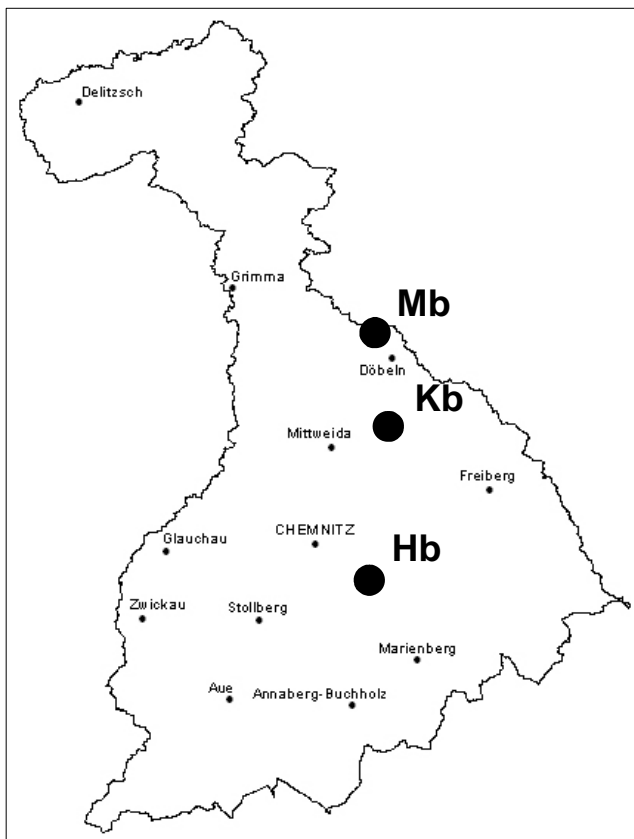


Abbildung 74: Lage der EZG Mockritzer Bach (Mb), Klatschbach (Kb) und Krumhermersdorfer Bach (Hb) im Muldeinzugsgebiet

Tabelle 23: Charakterisierung der im Rahmen von Fallstudien untersuchten Teileinzugsgebiete

	EZG Mockritzer Bach	EZG Klatschbach	EZG Krumhermersdorfer Bach
Gebietsgröße	373 ha	1196 ha	925 ha
Naturraum	Mittelsächsisches Lösshügelland	Mulde-Lösshügelland	Mittleres Erzgebirge
Vorherrschende Bodenformkombinationen	Lösslehm-Parabraunerde/ Braunstaugley	Lösslehm-Braunstaugley/ Staugley	Braunerde-Pseudogley/ Pseudogley-Braunerde
Höhe ü. NN	199 - 265 m	215 - 340 m	310 - 610 m
Jahresdurchschnittsniederschlag	540 - 680 mm	600 - 750 mm	750 - 900 mm
Jahresdurchschnittstemperatur	7,7 - 8,3 °C	7,4 - 7,8 °C	6,5 - 7,2 °C
Untersuchungen im Rahmen von HONAMU	AUßENDORF et al. (2006) RÜTER (2006, 2007) RÜTER und REICH (2005, 2007)	BÜLTMANN et al. (2005) RÜTER (2007) RÜTER und REICH (2005)	GESEMANN et al. (2005) KAMPRAD (2006)

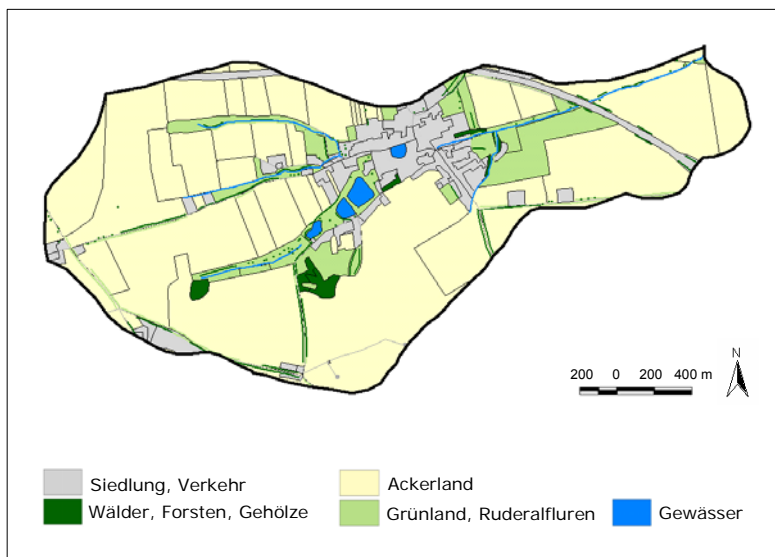


Abbildung 75: Gebietsabgrenzung und Flächennutzung des EZG Mockritzer Bach

Das Einzugsgebiet des Mockritzer Baches liegt im südöstlichen Teil der Region Westsachsen im Landkreis Döbeln (Abbildung 75). Das naturräumlich dem Mittelsächsischen Lösshügelland zuzuordnende Gebiet wird durch das Hügelrelief der Landschaft geprägt. Mit Ackerzahlen bis zu 75 und einem für die landwirtschaftliche Nutzung günstigen Klima gehört das Lössgebiet zu den hochpro-

duktiven Agrargebieten Sachsens. Aufgrund dieser Naturraumausstattung werden über 70 % des Gebietes als Ackerland genutzt. Die wenigen Grünländer finden sich vorwiegend in Talsenken und in den Bachauen sowie im Siedlungsbereich, wo diese häufig als Obstbaumwiesen bewirtschaftet werden. Die großflächigen Ackerflächen verfügen nur noch über sehr wenige naturnahe, strukturreiche Landschaftselemente. Die Landschaft muss daher heute als ausgeräumt bezeichnet werden. Eine Untergliederung der landwirtschaftlichen Flächen erfolgt allenfalls durch zerstreut vorhandene Feldgehölze und Baumreihen sowie Gras- und Krautsäume entlang der Straßen und Wege.

7.2 Methodische und instrumentelle Bausteine der integrativen Ziel- und Maßnahmenentwicklung

Sollen Synergieeffekte zwischen den verschiedenen Landschaftsfunktionen ausgeschöpft und Nutzungskonflikte verhindert werden, müssen Maßnahmen im Hinblick auf ihre Einsetzbarkeit und Wirksamkeit getestet und auch in Kombination mit anderen Maßnahmen betrachtet werden. Zu diesem Zweck ist eine Methodik erforderlich, welche dazu geeignet ist, die Komplexität der Landschaft in ihren Wechselwirkungen zu erfassen. Eine denkbare Methode ist das mathematische Verfahren der multikriteriellen Optimierung (KOCH et al., 1989), das von GRABAUM (1996) als rechnergestütztes Verfahren konzipiert wurde und für ausgeräumte Agrarlandschaften bereits erfolgreich angewendet wurde (GRABAUM und MEYER 1998, 1999; MEYER et al., 2001). Obwohl die Methodik prinzipiell Vorteile für die Bewertung und Entscheidungsunterstützung in der räumlichen Planung bietet, war eine Nutzung im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht zweckmäßig. Dies ist im Wesentlichen darauf zurück zu führen, dass keine linearen Landschaftsstrukturen (z. B. Hecken, Gras- und Krautsäume) bei der Landschaftsoptimierung berücksichtigt werden können (MEYER et al., 2001). Genau diese sind jedoch von zentraler Bedeutung für die vorliegende Untersuchung.

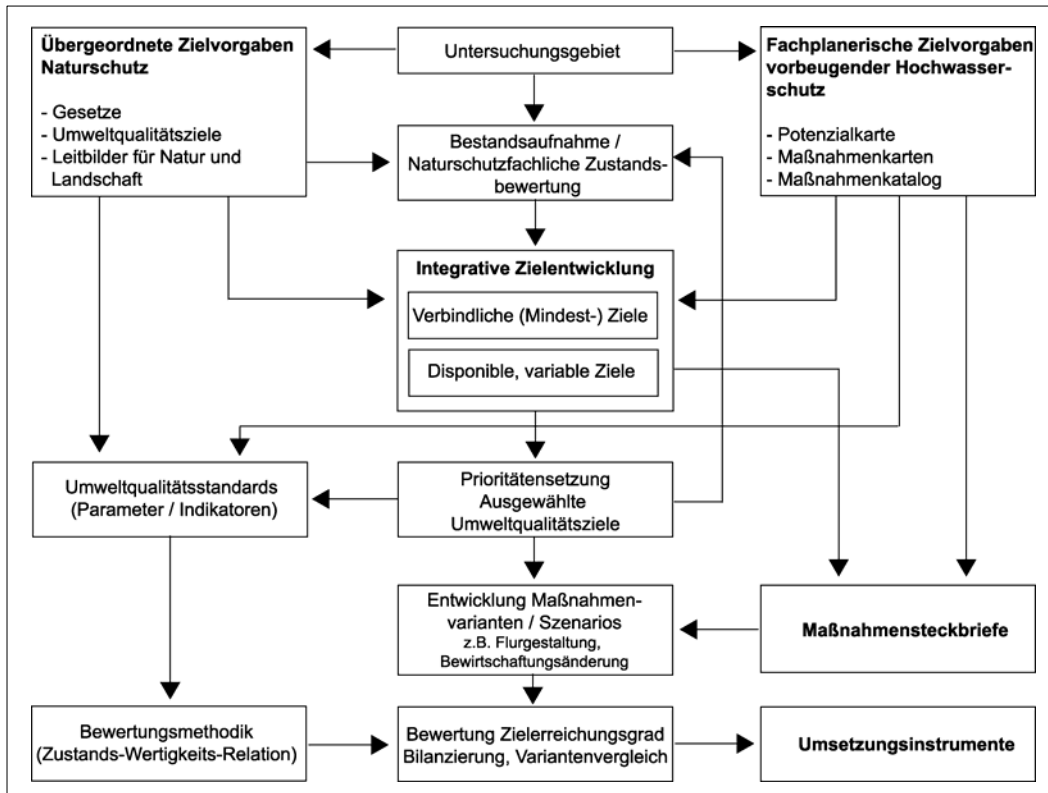


Abbildung 76: Allgemeiner Ablauf und Bausteine der integrativen Ziel- und Maßnahmenentwicklung

Den Kern der im Folgenden vorgestellten Methode stellen an den jeweiligen Planungsraum angepasste Zielkonzepte dar. Zielkonzepte fassen schutzgutbezogene Leitbilder und Umweltqualitätsziele zusammen, systematisieren sie, stellen Zielsynergismen, Indifferenzen und Konflikte fest, bauen Zielhierarchien auf und stellen den Bezug zu den Instrumenten und Maßnahmen her (vgl. v. HAAREN und FREYTAG, 1999; MÜSSNER et al., 2002). Trotz (genereller) methodischer Schwierigkeiten, die sich aus diesem Arbeitsansatz ergeben (z. B. Interpretationsspielräume bei der Ausdifferenzierung von Zielen), konnte nur auf diese Weise sichergestellt werden, dass alternative Maßnahmenvarianten auf den gleichen übergeordneten Normensetzungen fußen (Naturschutzziele), andererseits aber auch eine Anpassung des Vorgehens an die lokalen Problemlagen möglich ist.

Eine schematische Darstellung der Vorgehensweise ist in Abbildung 76 dargestellt. Der Ablauf ist als Prozess zu verstehen, der sich aus verschiedenen Komponenten zusammensetzt und - wo dies möglich und fachlich sinnvoll ist - Schnittstellen zu den anderen Teilergebnissen aus HONAMU aufweist.

7.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet für eine integrative Planung ist in jedem Einzelfall individuell zu bestimmen. Prinzipiell muss der Betrachtung von jeder Landschaftsfunktion bzw. von jedem Umweltqualitätsziel ein individueller Raumbezug zu Grunde liegen. Aus der Sicht des vorbeugenden Hochwasserschutzes wird der Raumbezug durch die Gewässereinzugsgebiete vorgegeben. Letztere müssen allerdings nicht zwangsläufig mit den Raumbezügen anderer Landschaftsfunktionen übereinstimmen (z. B. Verbreitungsgebiete von Tierarten). Die räumliche Ausdehnung des zu betrachtenden Untersuchungsgebietes hängt deshalb von dem erforderlichen Raumbezug aller relevanten Landschaftsfunktionen ab. Diese wiederum hängen von den vorhandenen Naturraumpotenzialen ab. Der Untersuchungsraum sollte laufend angepasst werden, wenn sich z. B. durch die Ergebnisse der Bestandsanalyse neue Gesichtspunkte ergeben. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass der Einfluss von verschiedenen Maßnahmenvarianten nicht isoliert voneinander, sondern aus multifunktionaler Sicht bilanziert und analysiert werden kann. Die räumliche Überlagerung verschiedener Bezugsgeometrien stellt eine wesentliche Voraussetzung für die Zusammenführung sektoraler Zielkonzepte in einem integrativen Gesamtkonzept dar (vgl. DABBERT et al., 1999).



Abbildung 77: Abgrenzung verschiedener Funktionsräume im EZG Mockritzer Bach: Gewässereinzugsgebiet (durchgezogene Linie) und Areal einer Metapopulation der Roesels Beißschrecke (*Metrioptera roeselii*) (gestrichelte Linie) (verändert nach Rüter, 2007)

7.2.2 Erfassung und Bewertung von Natur und Landschaft

Im ersten Schritt müssen die für die naturschutzfachliche Zustandsbewertung erforderlichen naturraum-, standort- und nutzungsspezifischen Datengrundlagen erfasst und aufbereitet werden. Bestandsaufnahme und Bewertung stellen die Grundlage für die Ableitung von Umweltqualitätszielen

dar (s.u.). Andererseits legen die Umweltqualitätsziele Art und Umfang der Bestandserfassung und -bewertung fest.

Eine Zustandsbewertung aus der Sicht des vorbeugenden Hochwasserschutzes ist bereits auf Grundlage der Potenzialkarte möglich, welche die Bereiche mit besonderem Wasserrückhaltvermögen ausweist. Um zusätzliche Informationen über die konkreten Abflussverhältnisse vor Ort zu erlangen (z. B. bevorzugte Abflussbahnen, Bereiche mit besonders hohem Oberflächenabfluss), ist der Einsatz weiterer Modelle erforderlich (Abbildung 78). Im Rahmen von HONAMU wurde das physikalisch begründete Simulationsmodell EROSION-3D (SCHMIDT, 1991; v. WERNER 1995) verwendet, das im Rahmen umfangreicher Feldversuche in Sachsen validiert wurde (Bodenerosionsmessprogramm). Das ursprünglich zur Simulation von Wassererosion in kleinen Einzugsgebieten entwickelte Modell eignet sich zur Prognose des durch Starkregenereignisse produzierten Oberflächenabflussvolumens (Direktabflussanteil). Mit einer maximalen Auflösung von 1 m des durch Rasterzellen dargestellten Landschaftsausschnittes ist auch die Bemessung und Bewertung struktureller Maßnahmen wie z. B. Hecken oder Grünstreifen vor dem Hintergrund der Retentionsfunktion möglich (siehe dazu RÜTER, 2007).

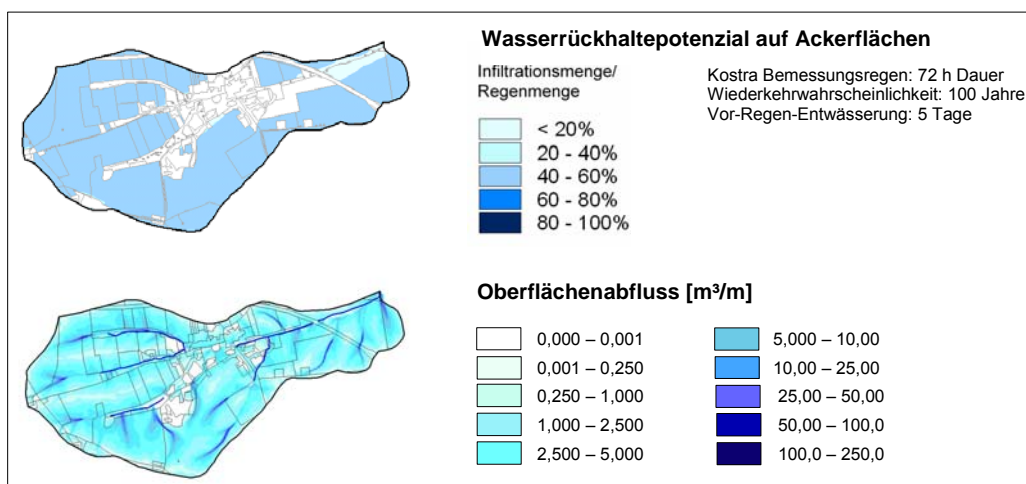


Abbildung 78: Ergebnisse der Potenzialkarte (oben) und der Abflussmodellierung mit EROSION-3D (unten) für das EZG Mockritzer Bach (Modellannahmen: 20-jähriges Extremereignis, konventionelle Bodenbearbeitung (Pflug), Kultur Mais, Saatbettzustand, hohe Bodenfeuchte)

Für die Erfassung und Bewertung weiterer Landschaftsfunktionen (z. B. Biotopfunktion, Grundwasserdargebotsfunktion) müssen adäquate Daten und Methoden ausgewählt werden, die hier nicht abschließend vorgegeben werden können. Die Verfügbarkeit von Daten und der Zweck der Erfassung und Bewertung von Natur und Landschaft beeinflussen die Auswahl der Methoden. Weil es das Ziel des Forschungsvorhabens war, Möglichkeiten für integrative Hochwasserschutzplanungen mit den in Sachsen vorhandenen und leicht zugänglichen Daten und Methoden aufzuzeigen, es

andererseits aber nicht das Ziel war, das Spektrum der möglichen Methoden und Daten im Einzelnen aufzuzeigen und zu diskutieren, wird an dieser Stelle exemplarisch auf die Arbeiten von ARBEITSGEMEINSCHAFT BOSCH UND PARTNER (2000), BRUNS (2003), HUHNS et al. (2002) und IÖR et al. (2005) verwiesen. Die Arbeiten geben eine Übersicht über die in Sachsen verfügbaren Umweltdaten und/oder geben Empfehlungen für die Verwendung von geeigneten Erfassungs- und Bewertungsmethoden für den Naturhaushalt in Sachsen, auf die auch im Projekt HONAMU zurückgegriffen wurde.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Ausnutzung von Synergieeffekten in der Planung sind Datenschnittstellen, welche die Zusammenführung der schutzgutbezogenen Bewertungsergebnisse eines Gebietes ermöglichen. Im integrativen Hochwasserschutz können besonders die für die Abflussmodellierung benötigten Eingangsdaten zur Landnutzung und Vegetation eine Schnittstellenfunktion einnehmen, da entsprechende Informationen auch für andere Naturschutzziele eine wichtige räumliche und inhaltliche Bezugs- und Bewertungsbasis darstellen. RÜTER et al. (2006) haben am Beispiel des Wasserhaushaltsmodells WaSiM-ETH und der CIR-Biotoptypen- und Landnutzungskartierung Sachsen aufgezeigt, dass durch die Nutzung von Biotoptypen eine unmittelbare Integration von Naturschutzbelangen in Hochwasserschutzkonzepte möglich ist (Tabelle 24). Zwar genügen auch die sächsischen CIR-Daten aufgrund ihres Bearbeitungsmaßstabes und Detaillierungsgrades, vorhandener Interpretationsungenauigkeiten und der mangelnden Aktualität alleine nicht für eine fachlich fundierte Naturschutzplanung, doch können sie zusammen mit anderen Daten (z. B. Selektive Biotopkartierung, Arten-Kataster, Bodendaten) zur Ableitung von Zielaussagen und zur Schwerpunktsetzung aus der Sicht des Naturschutzes herangezogen werden (SCHLUMPRECHT, 2001).

Tabelle 24: Eignung der CIR-Biotypen- und Landnutzungstypenkartierung Sachsen für die einzugsgebietsbezogene N-A-Modellierung mit WaSiM-ETH (verändert nach RÜTER et al., 2006)

Modelltechnische Anforderungen von WaSiM-ETH an Landnutzungsdaten	Anforderun-	Beurteilung der Eignung der CIR-Biotypen- und Landnutzungskartierung Sachsen
Informationsgehalt*	✓	Über den Modellbedarf hinaus gehende Differenzierung der Landnutzungstypen
Räumliche Auflösung**	✓	Hohe räumliche Auflösung
Vollständigkeit	✓	Als flächendeckende Datengrundlage für ganz Sachsen geeignet
Aktualität	(✓)	Momentaufnahme des Landschaftszustands 1992/93
Aufbereitungsgrad	✓	Systematisch-hierarchische Datenaufbereitung
Datenkompatibilität	✓	Datenumwandlung in ASCII-Rasterformat möglich
<p>* Kriterium kann nur im Zusammenhang mit den vorhandenen Modellparametern und den modellspezifischen Abbildungsmöglichkeiten der hydrologischen Prozesse beurteilt werden</p> <p>** Kriterium kann nur im Zusammenhang mit den anderen räumlichen Daten(Boden, Topographie) und der betrachteten Raumskala beurteilt werden</p> <p>Beurteilung der Eignung:</p> <p>✓ Anforderungen erfüllt/CIR-Daten geeignet</p> <p>(✓) Anforderungen mit Einschränkungen erfüllt/CIR-Daten bedingt geeignet</p>		

Eine Verwendung der CIR-Daten ermöglicht zusätzliche Aussagen zur naturschutzfachlichen Qualität von Flächen, die bei der Nutzung anderer Flächennutzungsdaten nicht unmittelbar ableitbar wären. Auf diese Weise können solche Flächen abgegrenzt und Maßnahmen ermittelt werden, die nicht nur aufgrund der hydrologisch-hydraulischen Wirkungen einen Wasserrückhalt bewirken, sondern zugleich den Zielen von Naturschutz und Landschaftspflege entsprechen. Eine gemeinsame Betrachtung bietet die Möglichkeit, Ziele und Maßnahmen fachübergreifend abzustimmen und Synergieeffekte gezielt auszunutzen (RÜTER et al., 2006).

In der Abbildung 79 sind Teilergebnisse der biotoptypenbasierenden, naturschutzfachlichen Zustandsbewertung aus der Fallstudie Mockritzer Bach abgebildet. Im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Potenzialkarte und der Abflussmodellierung (Abbildung 79) wird deutlich, dass besonders die großen Ackerschläge schutzgutübergreifend erhebliche Defizite aufweisen und somit ein hohes Potenzial für die Umsetzung multifunktionaler Maßnahmen besitzen. Andererseits zeigt die Teilbewertung der bioklimatischen Ausgleichsfunktion die hohe Bedeutung der Ackerflächen für die Kaltluftproduktion sowie wichtige Leitbahnen für den Luftaustausch. An diesem Beispiel wird die Bedeutung der funktionsübergreifenden Zustandserfassung und -bewertung deutlich, weil eine unbedachte Maßnahmenplanung im Bereich der Luftaustauschbahnen (z. B. Aufforstung oder Strukturierung der Ackerflächen durch Hecken) eine Beeinträchtigung der bioklimatischen Ausgleichsfunktion zur Folge haben könnte (Barrierewirkung).

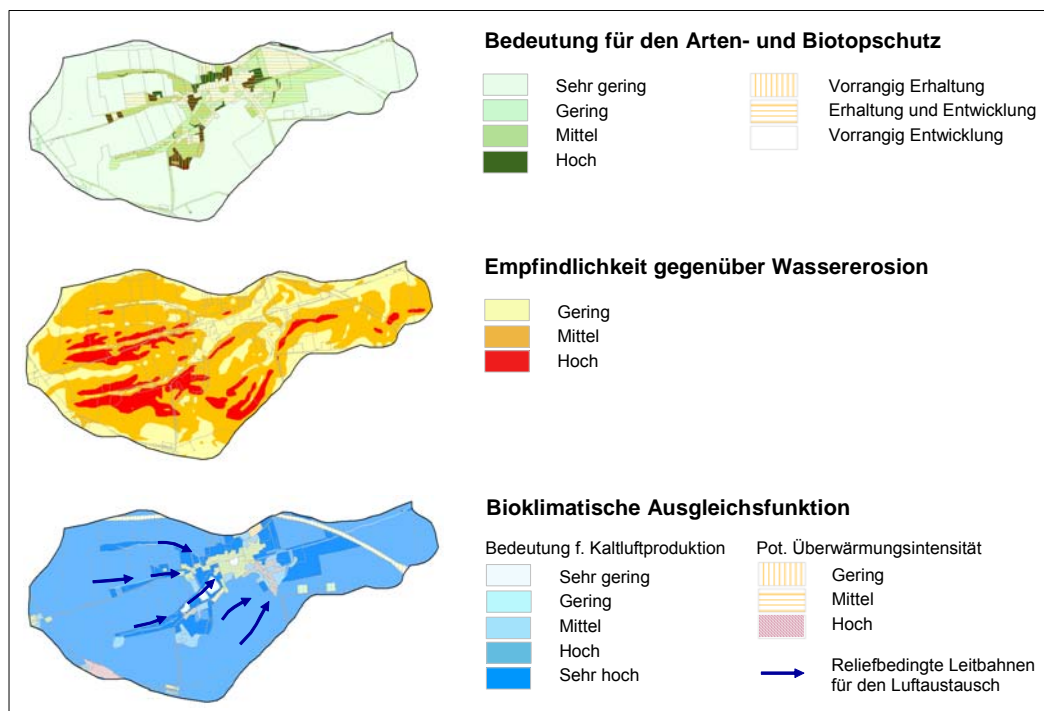


Abbildung 79: Teilergebnisse der naturschutzfachlichen Zustandsbewertung im EZG Mockritzer Bach

7.2.3 Leitbildentwicklung

Die Notwendigkeit von eindeutigen und nachvollziehbaren Leitbildern im Naturschutz wurde in den letzten Jahren zunehmend erkannt (z. B. BRÖRING et al., 1996; FÜRST et al., 1992; v. HAAREN, 1999; v. HAAREN und HORLITZ, 2002; MARZELLI, 1994; MÜSSNER et al., 2002; PLACHTER und REICH, 1994). Leitbilder repräsentieren die zusammengefasste Darstellung des angestrebten Zustandes und der angestrebten Entwicklungen, die in einem bestimmten Raum in einer bestimmten Zeitperiode erreicht werden sollen (WIEGLEB et al., 1999).

Die naturräumlich stark differenzierten Standortverhältnisse, verbunden mit den charakteristischen Nutzungsstrukturen und den verschiedenartigen Ausprägungen von Biotop- und Artenvorkommen im Muldeinzugsgebiet, erfordern eine territorial stark differenzierte Herangehensweise bei der Konkretisierung von Naturschutzziele (vgl. DÖRING et al., 1999). Den Zielkonzepten liegen deshalb übergeordnete Leitbilder aus der Regionalplanung zu Grunde, die auf der Ebene von Naturräumen als Referenzsystem zur Festlegung von raumkonkreten Umweltqualitätszielen verwendet werden können. Diese Leitbilder für Natur und Landschaft sind ein Ergebnis der Landschaftsrahmenplanung. Als Fachbeitrag des Naturschutzes zur Regionalplanung nach § 6 (1) SächsLPIG stellen sie eine wesentliche Grundlage für den Schutz, die Pflege und die Entwicklung von Natur und Landschaft in Sachsen dar (§ 4 (2) SächsNatSchG). Die Leitbilder orientieren sich an den Grundmotiven und Leitprinzipien des Naturschutzes (z. B. Erhaltung der Biodiversität und Nachhaltigkeit) und an übergeordneten Zielvorgaben, zumindest wenn es sich um Gesetze und/oder bindende Planungen handelt (z. B. BNatSchG, SächsNatSchG, FFH-Richtlinie, Landschaftsprogramm). Sie berücksichtigen das naturräumliche Potenzial und die besonderen Eigenarten der Naturräume, welche sich aus den natürlichen Standortverhältnissen und der kulturhistorischen Entwicklung unter Beachtung der verschiedenen Nutzungsanforderungen herleiten.

Die Verwendung der Leitbilder bietet den Vorteil, dass verschiedene Ziel-Bezugssysteme (z. B. Arten- und Biotopschutz, Landschaftsbild) in diesen bereits integriert sind und bei der Festlegung von Grenzwerten herangezogen werden können (vgl. Knickel et al., 2001). So beschreiben die Leitbilder flächendeckend, aber noch nicht flächenkonkret den gewünschten zukünftigen Zustand der Landschaft. Qualitative Zielvorstellungen beziehen sich dabei meist auf die Arten der Landnutzungen. Neben Hinweisen zu Nutzungsintensitäten, angestrebten Zielarten und Strukturausstattungen der Landschaft werden aber auch Angaben über zu fördernde Entwicklungsziele für die wesentlichen Biotopkomplexe in Bezug auf die Notwendigkeit ihrer Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung gemacht, die bei der Zielkonkretisierung berücksichtigt werden sollten. Auf lokaler Ebene werden die regionalen Naturschutzziele weiter durch die Ziel- und Maßnahmenkonzepte des Landschaftsplans bzw. des Flächennutzungsplans konkretisiert (siehe auch Kapitel 8 zu den Planungsinstrumenten). Damit ist die Landschaftsplanung die entscheidende Informationsgrundlage, damit die integrative Hochwasserschutzplanung den Ansprüchen nach Einbeziehung des Schutzes des Naturhaushalts nachkommen kann (z. B. GASSNER, 1996).

7.2.4 Umweltqualitätsziele und Umweltqualitätsstandards

Dem Naturschutz liegen verschiedene Rahmenziele zu Grunde. Die Verfolgung sämtlicher Grundmotive wie z. B. Natürlichkeit, Biodiversität, Stabilität, Einmaligkeit und Nachhaltigkeit gleichzeitig und am gleichen Ort ist in Kulturlandschaften aber nicht möglich. Aus diesem Grund muss ein effektiver Naturschutz stets Prioritäten setzen und zudem die konkreten Verhältnisse und Besonderheiten vor Ort berücksichtigen (FLADE et al., 2003).

Auf der Grundlage der in Kapitel 7.2.2 durchgeführten Bestandsanalyse lässt sich überprüfen, ob die aus den übergeordneten Leitbildvorgaben identifizierten Naturschutzziele für das Untersuchungsgebiet relevant sind und/oder mit Priorität zu behandeln sind. Auf diese Weise werden Umweltqualitätsziele (UQZ) ermittelt, für deren Erfüllung dem Gebiet eine besondere Bedeutung zukommt (vgl. FÜRST et al., 1992; SRU, 1996b). Die Auswahl erfolgt unter Berücksichtigung der aktuellen Relevanz des Ziels im Gebiet (z. B. Vorkommen einer Zielart), erkennbaren Risiken (z. B. Erosionsanfälligkeit) und dem flächenbezogenen Entwicklungspotenzial zur Zielerreichung (in Anlehnung an PLACHTER et al., 2003). Bei der Festlegung der UQZ kann auf bestehende Arbeiten und Konzepte für Sachsen zurückgegriffen werden. Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) hat auf Landesebene für bestimmte Umweltproblembereiche einen Qualitätshorizont definiert, der als Grundlage verwendet werden kann (LfUG, 2001). Das Konzept ist als Orientierungs- und Handlungshilfe für die Verfolgung von UQZ im Freistaat Sachsen konzipiert und wurde in diesem Sinne eingesetzt. Zusätzlich sollten vorliegende Landschafts- und Regionalplanungen, Naturschutzgutachten (z. B. Pflege- und Entwicklungspläne) und sonstige Fachplanungen (z. B. Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung, Waldmehrungsplanungen) ausgewertet und Expertengespräche vor Ort geführt werden (z. B. Umweltfachämter, Naturschutzbehörden, Naturschutzverbände). Auf diese Weise ist es möglich, dem Untersuchungsgebiet einen begrenzten Satz von UQZ zuzuordnen.

Obwohl jedem Qualitätsziel bei der Bestandsaufnahme und Bewertung ein individueller Raumbezug zu Grunde liegen muss (vgl. Kapitel 7.2.1) sollten vor dem Hintergrund der Hochwasserthematik die Einzugsgebiete als zentrale Bezugsgeometrie verwendet werden. Auf untergeordneter Ebene sollten Teilflächen (z. B. einzelne Biotope, landwirtschaftliche Schläge) als Grundeinheit der Zielbestimmung und Maßnahmenplanung betrachtet werden. Diese Mehrstufigkeit des Raumbezugs hat sich als sinnvoll herausgestellt, weil einzelne schlagbezogene Maßnahmen aufgrund landschaftsökologischer Effekte nicht isoliert voneinander, sondern in einem größeren räumlichen Zusammenhang betrachtet werden müssen (vgl. PLACHTER et al., 2003).

Weil Naturschutzziele durch UQZ zunächst rein qualitativ beschrieben werden, müssen zur Quantifizierung Umweltqualitätsstandards (UQS) definiert werden. Unter UQS werden konkrete Bewertungsmaßstäbe zur Bestimmung des Schutzstatus, der Belastung und der angestrebten Qualität verstanden, die für einen bestimmten Parameter bzw. dessen Indikatoren Ausprägung, Messverfahren und Rahmenbedingungen festlegen (vgl. FÜRST et al., 1992). UQS können jedoch nicht für

alle Aspekte eines Zielsystems, sondern immer nur für messbare oder zumindest nominal skalierbare Teilbereiche formuliert werden (v. HAAREN und FREYTAG, 1999). Im Rahmen dieser Arbeit wurden quantitative Festlegungen zu UQZ deshalb hauptsächlich für die Schutzgüter Wasser und Boden getroffen, da in diesen Fällen eine Messung im Rahmen der Modellierung mit EROSION-3D möglich war (z. B. Abflussvolumen, Erosion/Deposition). Für die biotischen UQZ dagegen ist eine direkte Anwendung des Qualitätszielkonzepts nicht ohne Weiteres möglich, da die relevanten Funktionen und Sachverhalte (z. B. Biotopfunktion) i.d.R. viel zu komplex und nicht direkt messbar sind (Plachter et al., 2003). Um diese Ziele dennoch operationalisieren und - soweit möglich - quantifizieren zu können, wurde auf die in der Planungspraxis zunehmend verbreitete indikatorische Verfahrensweise zurückgegriffen (z. B. BERNOTAT et al., 2002b; FÜRST und SCHOLLES, 2001; RIECKEN, 1992b; WALTER et al., 1998). Hierbei werden für die einzelnen UQZ Indikatoren bestimmt, mit welchen komplexe qualitative Sachverhalte oder Wirkungskomplexe hinreichend genau abgebildet werden können. Obgleich indikatorische Verfahren i.d.R. eine deutlich geringere Aussagegenauigkeit haben als empirische Daten oder direkte Messungen (PLACHTER, 1992), hat sich diese Vorgehensweise in verschiedenen Projekten als solide und ausreichende Grundlage erwiesen, fachlich fundierte Naturschutzqualitätsziele für Agrarlandschaften zu entwickeln (z. B. FLADE et al., 2003).

Tabelle 25: Umweltqualitätsziele für das EZG Mockritzer Bach

UQZ 1	Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens der Landschaft
UQZ 2	Schutz des Bodens vor Wassererosion
UQZ 3	Schutz der Oberflächengewässer vor diffusen Einträgen aus der Landwirtschaft
UQZ 4	Erhalt und Entwicklung vielfältiger Lebensbedingungen für charakteristische Tier- und Pflanzenarten der offenen Agrarlandschaft
UQZ 5	Entwicklung eines funktional zusammenhängenden Netzes aus Saumstrukturen
UQZ 6	Strukturierung der Landschaft durch Gehölze gemäß der landschaftlichen Eigenart

Für die Betrachtung der biotischen Aspekte wurde mit Zielarten (Fauna) gearbeitet. Tieren kommen wichtige Indikatorfunktionen für die Betrachtung von funktionalen Zusammenhängen in der Landschaft zu (z. B. BERNOTAT et al., 2002b; RIECKEN, 1992b). Darüber hinaus besteht ein relativ enger Zusammenhang zwischen der Strukturdiversität von Agrarlandschaften und dem Vorkommen einzelner Tierarten (z. B. KRETSCHMER et al., 1995; RÖSER, 1995), so dass sich eine Betrachtung faunistisch-tierökologischer Aspekte besonders gut zur Bewertung differenziert strukturierter Agrarflächen eignet. Bei Zielarten handelt es sich um planerisch ausgewählte Arten, die das prioritäre Ziel von Schutz-, Pflege- oder Entwicklungsmaßnahmen darstellen. Die Maßnahmen werden vorrangig auf ihre artspezifischen Lebensraumsprüche ausgerichtet (BERNOTAT et al., 2002b). In den Fallstudien dienten die Zielarten stellvertretend für die gesamte Biozönose und für bestimmte Habitattypen (vgl. FLADE, 1994; HOVESTADT et al., 1991), weil es selbst für die relativ kleinen Unter-

suchungsgebiete äußerst schwierig, wenn nicht gar unmöglich gewesen wäre, das ganze faunistische Arteninventar zu erfassen (vgl. REICHHOLF, 1987).

Bei der Auswahl von Zielarten sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Ableitung aus naturräumlich differenzierten naturschutzfachlichen Leitbildern;
- Ausreichender Kenntnisstand über die Ökologie der Arten;
- Zumindest potenzielles Vorkommen im Gebiet bzw. Nutzung als Teillebensraum;
- Leitarten mit differenzierten, qualitativ und quantitativ hohen Ansprüchen an die Ausstattung und Struktur der Landschaft;
- Unterschiedliche Mobilität und Habitatnutzung;
- Indikatorfunktion für funktionale Zusammenhänge in der Landschaft;
- Fokus auf solche Arten, deren Überleben von typischen Ökosystemen und Ökosystemkomplexen der Agrarlandschaft und von der Funktionsfähigkeit eines Biotopverbundes abhängt;
- Vertretbarer Arbeitsaufwand der Felderhebung.

Über eine Analyse der Habitatansprüche und Gefährdungsfaktoren der Zielarten können die Schlüsselparameter identifiziert werden, anhand derer die Landschaft mit einem vertretbaren Arbeitsaufwand hinreichend naturschutzfachlich bewertet werden kann. Dabei sollte besonders darauf geachtet werden, dass die einzelnen Parameter nicht nur für die Bewertung der Biotopfunktion, sondern möglichst auch für andere Qualitätsziele (insbesondere Wasserrückhaltevermögen) von Bedeutung sind, um Aussagen zu Synergieeffekten von Zielen und Maßnahmen treffen zu können. Der verwendete Zielartenansatz darf nicht als Ersatz für eine genaue Erhebung von faunistischen Daten im Gelände verstanden werden. Vielmehr sollte aufgezeigt werden, mit welchen Mitteln der Modellbildung und Bewertung es möglich ist, vorhandenes Wissen über die Ansprüche bestimmter Tierarten als Indikator dafür einzusetzen, um einen Teil des Funktions- und Wirkungsgefüges in der Landschaft darzustellen (vgl. HEHL-LANGE, 2001).

Die auf die beschriebene Weise für das Einzugsgebiet des Mockritzer Baches ermittelten Umweltqualitätsziele sind in

Tabelle 25 dargestellt. Der ausführliche Umweltqualitätszielkatalog ist dem Anhang zu entnehmen. Neben einer fachlichen Begründung gibt der Katalog Aufschluss über geeignete Indikatoren und Zielarten sowie über Maßnahmen zur Zielerreichung und Vorranggebiete zur Maßnahmenumsetzung. Er diene im weiteren Verlauf als naturschutzfachliche Bewertungsbasis und als Grundlage für die Feststellung von Synergien und Konflikten zwischen den Zielen und Maßnahmen des Naturschutzes und des vorbeugenden Hochwasserschutzes.

7.2.5 Szenarios und Maßnahmenvarianten

Aufbauend auf die Zielbestimmung werden Maßnahmenvarianten in Form von Szenarios entwickelt, die unter Berücksichtigung zuvor festgelegter Rahmenbedingungen zur Erreichung bzw. Zustandsverbesserung der definierten Qualitätsziele geeignet sind. Durch Szenarios können Ziel-

konzepte in ihrem Verlauf und ihren Auswirkungen simuliert und untereinander verglichen werden, wodurch notwendige praktische Voraussetzungen und zu erwartende Konsequenzen erkennbar werden (HORLITZ, 1998; MÜSSNER et al., 2002). Ausgangspunkt für die Auswahl der Szenarios sind die Ansprüche der prioritären Zielsetzung(en), in diesem Falle die Wasserrückhaltefunktion der Landschaft.

Bei der Erarbeitung der Varianten sollte die gesamte Bandbreite des erarbeiteten Maßnahmenkataloges (Kapitel 4.2) zum Einsatz kommen. Konkrete Vorschläge zur Verortung aus der Sicht des Hochwasserschutzes werden durch das Expertensystem FLEXT (Kapitel 5.3) unterbreitet. Weil FLEXT i.d.R. mehrere Maßnahmenalternativen für eine Fläche bereithält, können die Maßnahmensteckbriefe (Kapitel 4.2.2) zur Einengung der Auswahl - insbesondere unter Berücksichtigung des naturschutzfachlichen Potenzials der jeweiligen Maßnahmen - herangezogen werden. Außerdem sollten vorhandene Naturschutzkonzepte (z. B. Maßnahmenkonzept des Landschaftsplans) genutzt werden, um die umweltmedienübergreifenden Belange des Naturschutzes in die Planung einfließen zu lassen.

Obwohl Szenarios immer mit Prognoseunsicherheiten verbunden sind (vgl. v. HAAREN und HORLITZ, 1998) erhöht die Vorstellung von mehreren Zielalternativen und Varianten die Kommunizierbarkeit der Leitbilder für die Untersuchungsgebiete erheblich. Insbesondere gilt dies für den Prozess der diskursiven Leitbildentwicklung, der die Entwicklung eines mit allen Interessengruppen abgestimmten Leitbildes zum vorbeugenden Hochwasserschutz und Naturschutz in den Einzugsgebieten zum Ziel hat. Zur tatsächlichen Umsetzungswahrscheinlichkeit der einzelnen Varianten können jedoch keine konkreten Angaben gemacht werden, da diese von einer Vielzahl weiterer, nicht berücksichtigter Faktoren abhängt (z. B. Akzeptanz einzelner Maßnahmen bei Landwirten, Änderungen der Agrarpolitik).

Die Abbildung 81 stellt die für das EZG Mockritzer Bach entwickelten Szenarios dar. Verglichen wurde die Variante „Ist-Zustand“ mit der Variante „15 % Biotopstrukturen“. Weil sich die Änderung der Hauptnutzungsarten in der hochproduktiven Lössregion Sachsens in engen Grenzen halten wird, wurden Annahmen als realistisch eingestuft, die von max. 15 % Vorrangflächen für den Naturschutz auf gegenwärtigen Landwirtschaftsflächen ausgehen. In dem fiktiven Planbeispiel wurden die vorhandenen Biotopstrukturen von derzeit ca. 7 % auf insgesamt 15 % erweitert (ohne Berücksichtigung der realen Flächenverfügbarkeit). Dabei wurden als naturbetonte Strukturen alle nicht intensiv genutzten Flächen und Landschaftselemente wie kleinere Waldbestände, Grünländer, Streuobstwiesen, Hecken, Baumreihen, Gewässerrandstreifen oder Felldraine verstanden. Bezugsfläche für die Berechnung des Ausstattungsgrades mit naturbetonten Biotopen war die agrarische Kulturlandschaft außerhalb der großen und zusammenhängenden Siedlungen sowie landwirtschaftlichen Produktionsstätten (vgl. SRU, 1985). Als Obergrenze für die Zunahme der Waldfläche durch Aufforstungsmaßnahmen wurden gemäß der landespolitischen und regionalplanerischen Vorgaben 3 % der Gesamtfläche angenommen. Die Erhöhung des Waldanteils sollte jedoch nicht undifferen-

ziert erfolgen, sondern insbesondere dort, wo die klimatischen, ökologischen, landschaftspflegerischen und erholungswirksamen Funktionen der Fluren nicht beeinträchtigt werden. Eine Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsflächen wurde ausgeschlossen.



Abbildung 80: Vom Expertensystem FLEXT generierte Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens auf den Ackerflächen im EZG Mockritzer Bach

Für beide Varianten wurde sowohl eine flächendeckend konventionelle Bodenbearbeitung (Pflug), als auch eine flächendeckend konservierende Bodenbearbeitung (Zinkenrotor, 30 % Mulchbedeckung) angenommen. Damit war es möglich, auf Grundlage der Maßnahmenvorschläge von FLEXT (Abbildung 80) den flächenbasierten Maßnahmenansatz der pfluglosen Bodenbearbeitung mit einem fluruntergliedernden Maßnahmenansatz zu vergleichen und darüber hinaus die kumulativen Effekte einer Maßnahmenkombination zu ermitteln.

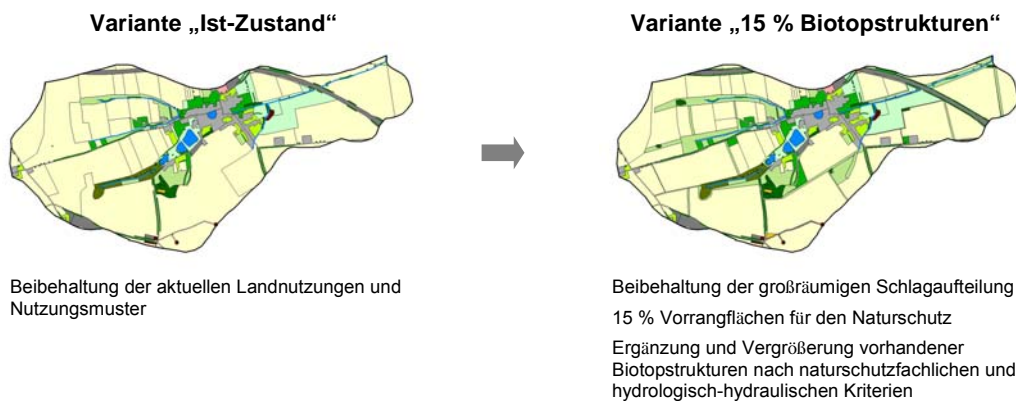


Abbildung 81: In der Fallstudie Mockritzer Bach betrachtete Maßnahmenvarianten (fiktives Planbeispiel ohne Berücksichtigung der realen Flächenverfügbarkeit)

7.2.6 Bewertungsmethodik

Methodische Verfahren zur Bewertung im Naturschutz liegen bereits für zahlreiche Handlungsfelder vor (z. B. BASTIAN, 1997; BASTIAN und SCHREIBER, 1994; BERNOTAT et al., 2002a; PLACHTER, 1992, 1994). Je nach Fragestellung und Arbeitsschritt einer Bewertung sind jedoch spezifische Herangehensweisen erforderlich.

Jede Maßnahmenvariante hat i.d.R. nicht nur positive, sondern kann auch negative Auswirkungen auf bestimmte Zielgrößen (UQZ) haben. Die Effekte der Szenarios sollten aus diesem Grund in Form von Wirkungsprognosen dargestellt werden, um potenzielle Konfliktfelder und Synergieeffekte identifizieren zu können und somit die Entscheidungsfindung im Hinblick auf eine „optimale“ Lösung zu unterstützen.

Um die Varianten bewerten zu können wird eine Methodik vorgeschlagen, die eine Ermittlung von Zielerreichungsgraden im Sinne von Zustands-Wertigkeits-Relationen (PLACHTER, 1994) ermöglicht. Der Werthintergrund der Bewertung wurde in Form der UQZ für die einzelnen Untersuchungsgebiete formuliert (Kapitel 7.2.4). Grundlage für die Wertzuweisung auf der Sachebene sind die möglichen Zustände, welche die UQZ bzw. die dazugehörigen Parameter/Indikatoren einnehmen können. Im Sinne des sog. „Toleranzgrenzen-Modells“ (PLACHTER et al., 2003: 125) sollten den UQZ wenn möglich Grenzen als Grundlage für die Bewertung zugewiesen werden, innerhalb derer bestimmte Zustände oder Nutzungen aus Naturschutzsicht tolerabel sind.

Tabelle 26: Beispiele für Umweltqualitätsziele, Zielarten, Indikatoren und Toleranzgrenzen in der Fallstudie Mockritzer Bach

Umweltqualitätsziel	Zielarten	Indikatoren	Toleranzgrenzen
Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens der Landschaft	-	Relative Reduzierung des Gebietsabflusses	20 - 40 %
Entwicklung eines funktional zusammenhängenden Netzes aus Saumstrukturen	Roesels Beißschrecke (<i>Metrioptera roeselii</i>)	Überlebensdauer einer Metapopulation	> 1 000 Jahre
	Feld-Grashüpfer (<i>Chorthippus apricarius</i>)	Flächenanteil Saumstrukturen	10 - 20 %
		Breite der Saumstrukturen	5 - 10 m

Exemplarisch soll an dieser Stelle auf die zwei in Tabelle 26 dargestellten UQZ eingegangen werden. Eine Bewertung des UQZ „Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens der Landschaft“ war durch die Simulation des Oberflächenabflusses mit EROSION-3D unmittelbar möglich. Indem die kumulativen Gebietsabflüsse der Varianten ermittelt wurden, konnten die relativen Veränderungen des Wasserrückhalts im Vergleich zum Ist-Zustand quantifiziert und bewertet werden. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wurden die Planungsvarianten unter jeweils identischen hydrologischen Randbedingungen bzgl. der Bodenfeuchte und der eingehenden Niederschläge analysiert, die sich in der Praxis unter Verwendung von EROSION-3D als aussagekräftig herausgestellt haben (THIEL, 2004). Betrachtet wurde jeweils ein „Worst-Case-Zustand“ mit Anbaukultur

Mais im Saatbettzustand und hohem Anfangswassergehalt. Als Eingangsniederschlag wurde ein Extremereignis mit einem statistischen Wiederkehrintervall von 20 Jahren modelliert. Sämtliche für EROSION-3D erforderlichen Modellparameter wurden dem Parameterkatalog Sachsen (MICHAEL et al., 1996) entnommen.

Zur Operationalisierung des UQZ „Entwicklung eines funktional zusammenhängenden Netzes aus Saumstrukturen“ wurden drei Indikatoren herangezogen: Zum einen erfolgte die Bewertung über den Flächenanteil der Saumstrukturen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche. In der Fachliteratur finden sich zahlreiche Angaben, die auf die Notwendigkeit eines ausreichenden Anteils an Saumbiotopen in der Agrarlandschaft hinweisen (z. B. HABER, 1993; KAULE, 1991; KNICKEL et al., 2001; KRETSCHMER et al., 1995; RÖSER, 1995; STEIDL und RINGLER, 1997b). Demnach sollten mindestens 5 %, möglichst aber größere Teile der landwirtschaftlichen Nutzfläche als Ausgleichsbiotope angelegt werden. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU, 1985) beispielsweise fordert die Bereitstellung von durchschnittlich 10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche für naturbetonte Biotope. Die geforderten 10 % verstehen sich hierbei als Durchschnittswert, der je nach Naturraum bzw. Agrargebiet variieren und von 5 % bis über 20 % schwanken kann. Als weiterer Indikator wurde die durchschnittliche Breite der Strukturen herangezogen. Auch hier ließen sich über ein Studium der Fachliteratur anzustrebende Mindestbreiten ermitteln (z. B. ALBRECHT et al., 2002; RÖSER, 1995; STEIDL und RINGLER, 1997b).

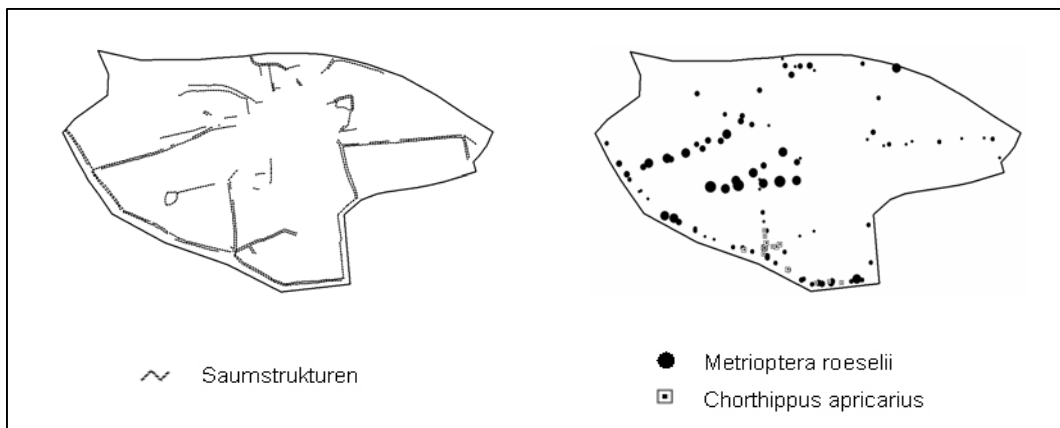


Abbildung 82: Gegenüberstellung von vorhandenem Saumnetz (li.) und Verbreitungsmuster der Heuschreckenarten (re.) im Untersuchungsgebiet Mockritzer Bach (verändert nach RÜTER, 2007)

Um die funktionale Bedeutung der Saumstrukturen abbilden zu können, wurden zusätzlich der Feld-Grashüpfer (*Chorthippus apricarius*) und die Roesels Beißschrecke (*Metrioptera roeselii*) als Zielarten ausgewählt. Vorkommen und Verbreitung beider Arten sind in Intensivagrarlandschaften eng an das Vorhandensein eines geeigneten Netzes aus Saum- und Kleinstrukturen gebunden (Abbildung 82). Mit *Metrioptera roeselii* wurde eine in Sachsen weit verbreitete Heuschreckenart

(KLAUS, 2003) mit Dichteschwerpunkt in langgrasigen Beständen wie Grünland, Brachen und Staudensäumen betrachtet, welche Saumbiotope sowohl als Biotopverbundstruktur aber auch als eigenständigen Lebensraum und als Larvalhabitat nutzt (z. B. PONIATOWSKI und FARTMANN, 2005). *Chorthippus apricarius* ist vergleichsweise gering verbreitet und gilt als anspruchsvolle Zielart des Naturschutzes, die an trockene Ackerbau Landschaften mit geringer Nutzungsintensität und mit hoher Zahl von Begleitbiotopen wie Gras- und Krautsäumen gebunden ist (z. B. ARNOLD-REICH und REICH, 2005; GROSSMANN, 1988; LAUBMANN, 1998; RECK, 1993). Es wurden bewusst solche Arten ausgewählt, die qualitativ und quantitativ hohe Ansprüche an ihren Lebensraum stellen und deren Überleben in Form einer Metapopulation (siehe dazu REICH und GRIMM, 1996) von der Funktionsfähigkeit eines Biotopverbundes abhängt. Die Betrachtung von Metapopulationen bietet den Vorteil, dass das Vorkommen und die Gefährdung von Arten besser interpretiert werden kann. Zudem ist es möglich, die Überlebenswahrscheinlichkeit von Metapopulationen mit Hilfe von speziellen Modellen zu quantifizieren, wodurch eine Bewertung möglich wird. Zu diesem Zweck wurde das Modell Meta-X (FRANK et al., 2003) eingesetzt, welches speziell zur Prognose der Überlebenswahrscheinlichkeit von Metapopulationen entwickelt wurde.²

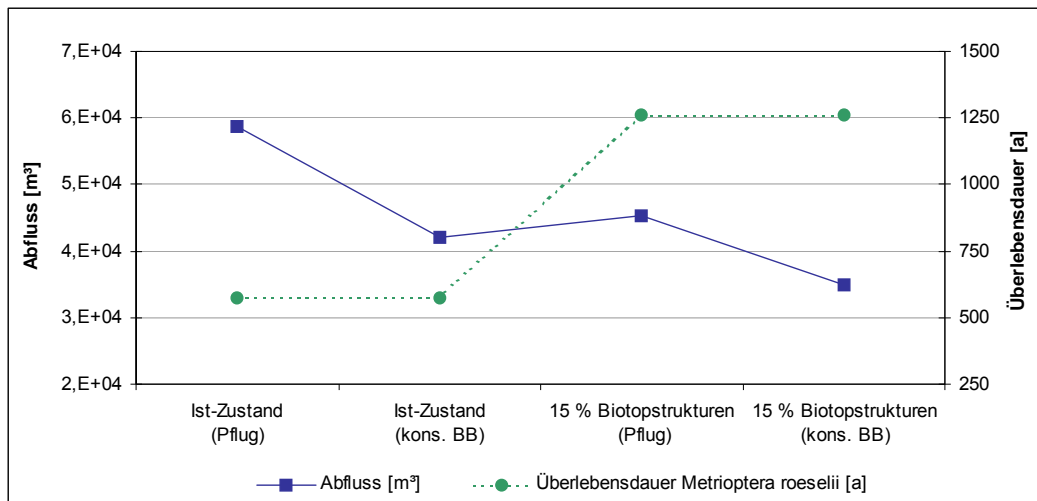


Abbildung 83: Modellergebnisse zur Oberflächenabflussbildung (EROSION-3D) und zur Überlebensdauer von *Metrioptera roeselii* (Meta-X) bei Annahme verschiedener Szenarios im EZG Mockritzer Bach (Modellannahmen EROSION-3D: 20-jähriges Extremereignis, konventionelle Bodenbearbeitung (Pflug), Kultur Mais, Saatbettzustand, hohe Bodenfeuchte)

² Wie die Kartierung der Zielarten ergeben hat, kommt *Chorthippus apricarius* im Bereich des Mockritzer Baches nur punktuell und in geringen Individuenzahlen vor (RÜTER und REICH, 2005). Die Modellierung mit Meta-X erfolgte deshalb nur für *Metrioptera roeselii*, weil nur diese Art in der für die Modellierung erforderlichen Metapopulationsstruktur nachgewiesen werden konnte.

In Abbildung 83 sind die Modellergebnisse für beide UQZ dargestellt. Es wird deutlich, wie unterschiedlich die Effekte der betrachteten Varianten vor dem Hintergrund verschiedener Zielsetzungen sind. Während die konservierende Bodenbearbeitung in der Variante „Ist-Zustand“ bereits zu einer deutlichen Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens beiträgt, sind für die Überlebenswahrscheinlichkeit von *Metrioptera roeselii* die zusätzlichen Verbundelemente der Variante „15 % Biotopstrukturen“ entscheidend. Die größten Synergieeffekte sind bei einer Kombination beider Varianten zu verzeichnen.

Auf der Wertebene müssen den jeweiligen Zuständen (z. B. den Simulationsergebnissen) fachlich begründete Naturschutzwerte zugeordnet werden. Die Wertigkeiten werden aus den Bewertungsmaßstäben abgeleitet, die in fachlich-normativer Sicht in Form der Leitbilder und Qualitätsziele vorliegen. Hierbei sollten die konkreten Bedingungen vor Ort besonders berücksichtigt werden.³

Tabelle 27: Beispiel für die Zuordnung von Naturschutzwerten für verschiedene Zustände von Indikatoren des UQZ „Entwicklung eines funktional zusammenhängenden Netzes aus Saumstrukturen“

Indikator	Zustand	Zielerreichungsgrad
Überlebensdauer einer Metapopulation von <i>Metrioptera roeselii</i>	> 1250 Jahre	Hoch
	750 - 1250 Jahre	Mittel
	< 750 Jahre	Gering
Flächenanteil Saumstrukturen	> 10 %	Hoch
	5 - 10 %	Mittel
	< 5 %	Gering
Saumbreite	> 5 m	Hoch
	2 - 5 m	Mittel
	< 2 m	Gering

³ So ist es beispielsweise äußerst unwahrscheinlich, dass es auf den hoch produktiven Standorten im Lösshügelland zu Heckennetzdichten von über 80 m/ha kommen wird. In diesen Bereichen würde eine sehr kleinteilige Agrarlandschaftsstruktur nicht den historisch gewachsenen Strukturen entsprechen. Die Landwirtschaft sollte sich hier stärker an dem Offenlandcharakter der Landschaft orientieren und günstige Voraussetzungen für spezialisierte Offenlandarten bei mäßiger Bewirtschaftungsintensität schaffen. Im Mittleren Erzgebirge dagegen sind entsprechende Heckennetzdichten realistisch und können häufig an alte Flurgrenzen anknüpfen.

Tabelle 28: Beispiel für eine Verknüpfungsregel zur Aggregation verschiedener Teilbewertungen von Indikatoren zu einem Gesamtwert für das UQZ „Entwicklung eines funktional zusammenhängenden Netzes aus Saumstrukturen“

Mindestanforderungen an die Kriterienkombinationen (Zielerreichungsgrad der Indikatoren)			Zielerreichungsgrad Gesamtbewertung
„Überlebensdauer <i>Metrioptera roeselii</i> “	„Flächenanteil Saum- strukturen“	„Saumbreite“	
Hoch	Mittel	Mittel	Hoch
Mittel	Hoch	Mittel	
Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
Gering	Gering	Gering	Gering

Die eigentliche Bewertung der Maßnahmenvarianten erfolgt über eine Gegenüberstellung des Ist-Zustands mit dem angestrebten Soll-Zustand. Auf diese Weise können die Zielerreichungsgrade der einzelnen Qualitätsziele ermittelt werden. Sowohl die quantitativen als auch die qualitativen Kriterien werden dafür einer einheitlichen dreistufigen Ordinalskala zugeordnet und ggf. durch logische Verknüpfungen zusammengeführt (Tabelle 28). Einfache Aggregationen von mehreren Indikatoren eines UQZ sind hierbei unumgänglich, um die Informationen so zu verdichten, dass damit in der Planung weiter gearbeitet werden kann. Eine Differenzierung in eine höherstufige (z. B. fünfstufige) Ordinalskala wurde nicht vorgenommen. Die Abstände zwischen den einzelnen Rangplätzen bestimmter UQZ bzw. Indikatoren hätten in diesem Fall nicht mehr fachlich plausibel und begründet hergeleitet werden können (z. B. Differenzierung des Zielerreichungsgrades „Saumbreite“).

Es erfolgt bewusst keine Aggregation sämtlicher Bewertungen der UQZ zu einem zusammenfassenden Naturschutzwert einer Maßnahmenvariante, weil

- a) i.d.R. nicht alle naturschutzfachlich relevanten UQZ betrachtet werden können und
- b) eine Gesamtdarstellung von z. T. nicht vergleichbaren Eigenschaften unterschiedlicher Landschaftsfunktionen aus planungstheoretischen Gründen vermieden werden sollte (v. HAAREN, 2004).

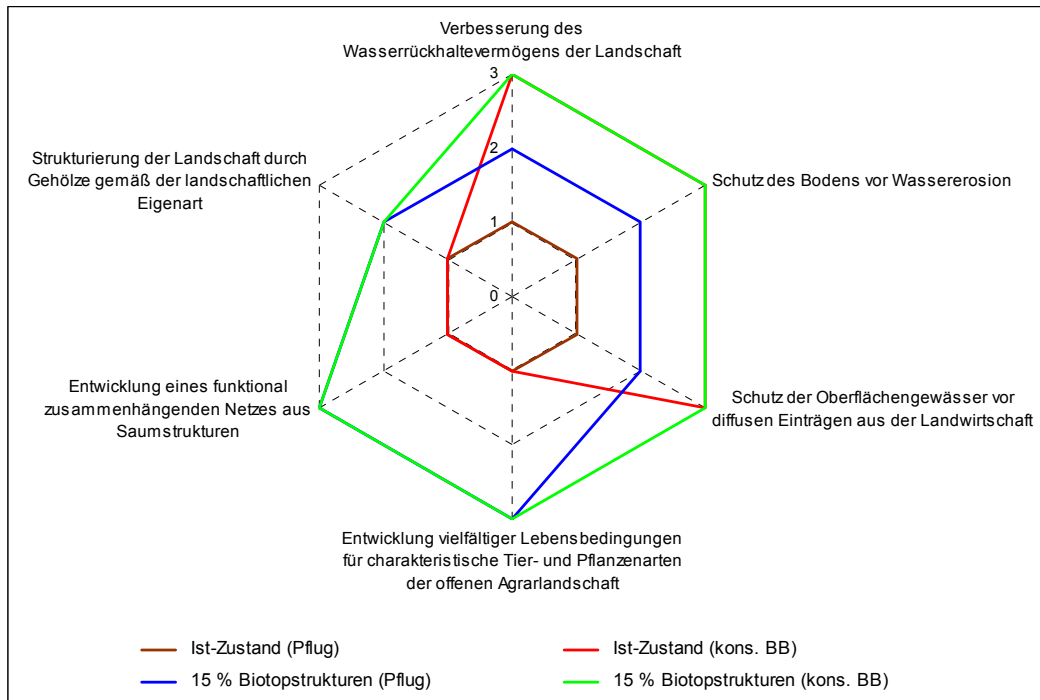


Abbildung 84: Zielerreichungsgrade der Maßnahmenvarianten im EZG Mockritzer Bach vor dem Hintergrund der Umweltqualitätsziele (Zielerreichungsgrade: 1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch)

Anstelle einer Informationsverdichtung durch komplexe Aggregationen sollten die Ergebnisse zu den einzelnen Landschaftsfunktionen bewusst nebeneinander stehen gelassen werden, um die Zielerreichungsgrade der einzelnen Qualitätsziele untereinander vergleichen zu können (Abbildung 84). Mit dieser Vorgehensweise ist letztlich eine Ermittlung von Rangfolgen möglich (vgl. „Argumentationsbilanz“ bei ZANGENMEISTER, 1993).

Für das Beispiel des Mockritzer Baches wird deutlich, dass der größte multifunktionale Nutzen durch eine Kombination aus fluruntergliedernden Maßnahmen und der Umstellung auf pfluglose Bodenbearbeitung erschlossen werden können. Während die konservierende Bewirtschaftung große Vorteile aus der Sicht des vorbeugenden Hochwasserschutzes und des Bodenschutzes bietet, werden die Ziele des Arten- und Biotopschutzes durch die Entwicklung von Biotopstrukturen signifikant beeinflusst. Untersuchungen von RÜTER (2007) zeigen, dass bei Flächenanteilen von 15 - 20 % Saumstrukturen der landwirtschaftlichen Nutzfläche außerdem vergleichbare Retentions-effekte erzielt werden können wie bei einer Umstellung von konventioneller auf konservierende Bodenbearbeitung (siehe auch Kapitel 4.2.3).

8 Umsetzung des Ziel- und Maßnahmenkonzepts

8.1 Vorbeugender Hochwasserschutz und Naturschutz in der räumlichen Planung

8.1.1 Einleitung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde dargestellt, welchen Beitrag dezentrale (Naturschutz-) Maßnahmen für den Hochwasserschutz im Muldeinzugsgebiet leisten können. Eine effiziente Ausnutzung der vorhandenen Potenziale setzt eine umfassende planerische Steuerung voraus. Die für den Wasserrückhalt besonders geeigneten und erforderlichen Flächen müssen frühzeitig identifiziert und im Sinne eines integrativen Hochwasserschutzes entwickelt werden. Dieses Kapitel widmet sich deshalb den rechtlichen Rahmenbedingungen und Instrumenten für eine planerische Umsetzung des Ziel- und Maßnahmenkonzeptes von HONAMU.

Nachdem im Kapitel 8.1.2 zunächst eine kurze Übersicht über die verfügbaren Planungsinstrumente in Sachsen gegeben wird, wird im Kapitel 8.1.3 aufgezeigt, welche Fachdisziplinen und Ebenen aufgrund ihrer spezifischen Funktion die Ziele des vorbeugenden Hochwasserschutzes in der Fläche umsetzen können und sollen.

8.1.2 Möglichkeiten und Defizite der dezentralen Hochwasserschutzplanung in Sachsen

Entsprechend der Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes kommt der Wasserwirtschaft die primäre Verantwortung für den Hochwasserschutz in Sachsen zu. Gemäß § 99 Abs. 1 SächsWG und unter Bezug auf § 31d Abs. 1 WHG sind im Interesse des Hochwasserschutzes „[...] durch die zuständigen Behörden bei Planungen und bei der Ausführung bestimmter Vorhaben Möglichkeiten zur Erhaltung, Verbesserung und Wiederherstellung des natürlichen Rückhaltevermögens zu berücksichtigen (vorbeugender Hochwasserschutz). Hierzu gehören insbesondere [...] die Versickerung von Niederschlagswasser [...] und sonstige Maßnahmen, die geeignet sind, den Abfluss des Niederschlagswassers zu vermindern“.

Die Möglichkeiten der wasserwirtschaftlichen Instrumente zur planerischen Steuerung und Stärkung des dezentralen Hochwasserschutzes sind allerdings sehr begrenzt. Hochwasserbezogene Aufgaben konzentrieren sich i.d.R. auf ingenieurtechnische Wasserbaumaßnahmen (vgl. HEILAND und DAPP, 2001). Die planerische Hochwasservorsorge Sachsens umfasst die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten als Grundlage für das Erkennen von Interessenkonflikten und Schwerpunkten der Hochwasserabwehr in überschwemmungsgefährdeten Bereichen, die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten nach § 100 SächsWG sowie die Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten inkl. Gefahrenkarten nach § 99 b SächsWG als Planungsgrundlage für den Hochwasserschutz an den Gewässern erster Ordnung. Die auf Grundlage der EU-Wasserrahmenrichtlinie neu eingeführten Planungsinstrumente des Bewirtschaftungsplanes und des Maßnahmenplanes bieten zwar die Möglichkeit, wasserwirtschaftliche Aspekte umfassend auch auf Einzugsgebiets-ebene anzugehen, dem vorbeugenden Hochwasserschutz „in der Fläche“ kommt jedoch bei der

Konzeption der Pläne keine besondere Rolle zu (vgl. PANEBIANCO, 2002). Mit Einführung der Schutzkategorie „Hochwasserentstehungsgebiet“ in das Sächsische Wassergesetz wurde ein erster Schritt in die einzugsgebietsbezogene Betrachtungsweise unternommen. Als Hochwasserentstehungsgebiete werden die Gebiete ausgewiesen und per Rechtsverordnung durch die höhere Wasserbehörde festgesetzt, in denen „[...] bei Starkniederschlägen oder bei Schneeschmelze in kurzer Zeit starke oberirdische Abflüsse eintreten können [...]“ (§ 100 b Abs. 1 SächsWG). In diesen Räumen soll das natürliche Wasserrückhaltevermögen erhalten oder verbessert werden.⁴ Eine Berücksichtigung der Bereiche mit besonders hohem und für den Hochwasserschutz im positiven Sinne erschließbarem Wasserrückhaltepotenzial (siehe Kapitel 3.4) erfolgt bisher jedoch nicht.

Generelle Möglichkeiten zur Umsetzung bzw. planerischen Steuerung von dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen sind durch die Instrumente der Raumordnung und Landesplanung (z. B. DAPP et al., 2000; GREIVING, 2001; HEILAND, 2002; KAMPE, 2002; MKRO, 2000), der Bauleitplanung (z. B. ARL, 2003; FRERICHS et al., 2003; REMBIERZ, 2001), der Landschaftsplanung (z. B. SANDER, 2004; RIEDL, 2001; RIEDL und GOCKEL, 1996) sowie der Land- und Forstwirtschaft (z. B. BÖHM et al., 1998) mit ihren gesetzlichen Regelungen zum Umgang mit den Naturgütern gegeben. Nachteil einer isoliert und primär an den Funktionen der Landschaft für die Retention ansetzenden Planung wäre die mangelnde Koordination mit anderen Umwelt- und Raumbelangen. Anders verhält es sich mit der Landschaftsplanung und der räumlichen Gesamtplanung: Die koordinierende Raum- und Bauleitplanung sucht den Ausgleich der Nutzungsansprüche im Raum und mündet in verbindlichen Darstellungen. Die Landschaftsplanung sucht nach naturgutübergreifenden Lösungen, die durch die Integration in die Raum- und Bauleitplanung sowie durch andere Instrumente umgesetzt werden können. Fachplanungen wie z. B. die forstliche Planung können diese Ziele aufnehmen und berücksichtigen. So können durch eine vorsorgende Nutzungssteuerung in den Raumordnungs- und Bauleitplänen wichtige Flächen für den Wasserrückhalt gesichert werden. Durch eine Kooperation mit den Instrumenten der Landschaftsplanung lassen sich vielfach planerische Problemlösungen finden, mit denen ein wichtiger Beitrag zum integrativen Hochwasserschutz und Naturschutz erzielt werden kann. Landschaftsplanerische Beiträge können die Grundlage bilden für die Ausweisung von naturschutzrechtlichen Schutzgebieten die in Bereichen mit hohem Wasserrückhaltepotenzial zur Hochwasservorsorge beitragen. Und auch die Instrumente der Forst- und Landwirtschaft, wie z. B. die Schutzwaldausweisung oder die Flurneuordnung, können einen wichtigen Beitrag zum vorsorgenden Hochwasserschutz leisten.

Wie verschiedene Studien belegen, werden die vorhandenen Potenziale in aller Regel aber nur unzureichend ausgeschöpft (z. B. BÖHM et al., 1998; FRERICHS et al., 2003; HENZE, 2005; PANEBIANCO, 2002). Obwohl in den letzten Jahren zunehmend Umdenkprozesse eingesetzt haben, werden

⁴ Methodische Ansätze zur Lokalisierung und zum Management der Hochwasserentstehungsgebiete wurden von RÖDER und ADOLPH (2006) entwickelt.

nach wie vor in sämtlichen Handlungsbereichen des vorsorgenden Hochwasserschutzes⁵ die planerischen Möglichkeiten nicht genutzt. So zeigte auch die Analyse des Augusthochwassers 2002 in Sachsen, dass noch große Defizite insbesondere beim dezentralen Wasserrückhalt durch gezielte Beeinflussung der Flächennutzung in den Einzugsgebieten bestehen (LfUG, 2004: 166).

8.1.3 Vorbeugender Hochwasserschutz als Querschnittsaufgabe der Umweltplanungen und der Raumplanung

Ein wesentlicher Grund für die vorhandenen Planungs- und Umsetzungsdefizite muss in der mangelnden Abstimmung zwischen den Fachdisziplinen und in dem Fehlen von geeigneten Datengrundlagen gesehen werden. Ohne Grundlagen und Konzepte zur Verbesserung des Gebietswasserrückhaltes ist es für die verschiedenen Planungen unmöglich, mit ihren Instrumenten effektiv zum vorsorgenden Hochwasserschutz beizutragen (vgl. HEILAND und DAPP, 2001). Während sich die Forderung nach Datengrundlagen bislang primär auf die Bereitstellung von wasserwirtschaftlichen Fachplanerkarten zu Überschwemmungsbereichen und Risikoflächen jenseits von Deichen konzentrierten (z. B. MKRO, 2000; GRÄFF, 2000; HEILAND und DAPP, 2001), müssen in Zukunft verstärkt die einzugsgebietsbezogenen Aspekte des Hochwasserschutzes Eingang in die Planung finden. Mit der Potenzialkarte (Kapitel 3) und den Maßnahmenkarten (Kapitel 5) wurden im Projekt HONAMU entsprechende Datengrundlagen erarbeitet, die eine flächenscharfe Übernahme von fachplanerischen Aussagen zum vorbeugenden Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche ermöglichen.⁶

⁵ Nach BÖHM et al. (1998) müssen Maßnahmen des vorsorgenden Hochwasserschutzes in den drei Handlungsbereichen „Sicherung und Wiederherstellungen natürlicher Überflutungsräume“, „Rückhalt von Niederschlagswasser“ und „Schadensminimierung durch Flächenmanagement und angepasste Bauweisen sowie durch wasserbauliche Einrichtungen“ ansetzen.

⁶ Vergleichbare Ansätze wurden von SIEGEL (2001)/SCHMUDE und SIEGEL (2001) mit der Erstellung eines „Informellen Plans zum vorbeugenden Hochwasserschutz“ für das Flusseinzugsgebiet der Wesenitz in Sachsen verfolgt, welcher grobe Aussagen über mögliche Konfliktgebiete sowie erste Anhaltspunkte für die Verteilung und Prioritätensetzung dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen bietet.



Abbildung 85: Strategiekonzept zur Integration der Belange des vorbeugenden Hochwasserschutzes und des Naturschutzes in die räumliche Planung

Obwohl einzelne Maßnahmen z. T. nur eine geringe Wirkung zeigen, können diese in der Summe zu einer deutlichen Reduzierung des Oberflächenabflusses beitragen (Kapitel 6). Die Planungsstrategie für das Muldeinzugsgebiet setzt deshalb eine enge Zusammenarbeit und ein sich ergänzendes Handeln der verschiedenen Planungsträger voraus. Vorbeugender Hochwasserschutz muss als querschnittsorientierte Aufgabe aufgefasst und praktiziert werden, bei der alle Fachdisziplinen die ihnen zur Verfügung stehenden Instrumente und die sich bietenden Synergieeffekte bei der Planung und Umsetzung von dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen nutzen (Abbildung 85).

Eine Zusammenführung und Abstimmung der auf den Naturhaushalt bezogenen Maßnahmen von Umweltfachplanung und Nutzungsfachplanungen erfolgt in der Landschaftsplanung. Sie gibt die für die Raumordnung relevanten Inhalte in geeigneter, integrationsorientierter Darstellung an die Landes-, Regional- und die Bauleitplanung weiter. Damit kann die Landschaftsplanung wesentlich zu einem integrativen Hochwasserschutz beitragen, indem Maßnahmen in ein ganzheitliches Konzept zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft eingebunden werden.

Die Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie, welche die Bewirtschaftung der Gewässer stärker an Flusseinzugsgebieten ausgerichtet sieht, unterstützen den naturgutübergreifenden Ansatz. Nach den Empfehlungen der MKRO (2000) sollen für Flusseinzugsgebiete die Ausgangsbedingungen gesamträumlich dargestellt und darauf aufbauend raumordnerische Handlungskonzepte grenzübergreifend entwickelt werden (SIEGEL und RICHTER, 2002). Primäres Ziel muss es hierbei sein, die für den Wasserrückhalt in der Fläche erforderlichen Bereiche (Flächen mit Senkenpotenzial) vorbeugend vor dem Zugriff durch entgegenstehende Nutzungen zu sichern um sie im Sinne des Hochwasserschutzes zu entwickeln. In der Umsetzung ist das Instrumentarium der räumlichen Gesamtplanung (Landes- und Regionalplanung, Bauleitplanung) von besonderer Bedeutung wel-

ches für den vorbeugenden Hochwasserschutz als gut geeignet und einsetzbar gilt (vgl. DAPP et al., 2000). Aber auch die übrigen Fachplanungen spielen natürlich eine wichtige Rolle im dezentralen Hochwasserschutz (vgl. BÖHM et al., 1998). Eine hochwasser- und naturschutzgerechte Landnutzung kann nur in Verbindung mit sämtlichen raumrelevanten Planungen, insbesondere denen der Wasserwirtschaft, Flurneuordnung und Forstwirtschaft, durchgesetzt werden. Vor allem die Möglichkeit, zusätzliche Aspekte wie den Hochwasserschutz in die Bewirtschaftungsplanung nach § 6 SächsWG mit aufzunehmen, sollte in umfassender Weise genutzt werden. Gerade auf der Ebene der Maßnahmenumsetzung sind alle Fachplanungen im Rahmen ihrer instrumentellen Möglichkeiten dazu aufgefordert, die in den Maßnahmenkarten dargestellten Handlungsziele umzusetzen. Hierbei wird dem jeweiligen Planungsträger die Möglichkeit geboten, die situativ geeignetsten Maßnahmen auszuwählen. Als Entscheidungsgrundlage aus der Sicht des Hochwasserschutzes und des Naturschutzes stehen die Maßnahmensteckbriefe (siehe Anhang) zur Verfügung, die eine individuelle Bewertung und Auswahl der Maßnahmen ermöglichen.

8.1.3.1 Landschaftsplanung

Vorbeugender Hochwasserschutz ist ein wesentliches Teilziel von Naturschutz und Landschaftspflege (RIEDL, 2001; RÜTER, 2005; SANDER, 2004). Gemäß § 1 (1) Nr. 1 BNatSchG soll die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes gesichert werden, was den Erhalt und die Verbesserung von funktionsfähigen, unbeeinträchtigten Wasserkreisläufen und damit auch den Wasserrückhalt in der Fläche einschließt (SANDER, 2004). Der vorbeugende Hochwasserschutz ist somit unmittelbarer Gegenstand der Landschaftsplanung. Die Landschaftsplanung hat – im Gegensatz zu anderen Planungsinstrumenten des Naturschutzes (z. B. Pflege- und Entwicklungspläne für Schutzgebiete, Artenschutzprogramme) – die Aufgabe, Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege für den jeweiligen Planungsraum als naturschutzfachliches Gesamtkonzept darzustellen und zu begründen (§ 13 Abs. 1 BNatSchG). Zentrales Anliegen muss es nach SANDER (2004b) in diesem Zusammenhang sein, Stoff- bzw. Wasserkreisläufe in den Einzugsgebieten möglichst kleinräumig und geschlossen zu halten, um unter Gesichtspunkten des Boden-, Grund- und Oberflächenwasserschutzes Stoffverluste bzw. -einträge in benachbarte Ökosysteme weitestgehend zu unterbinden.

Damit wird deutlich, dass die Förderung der Gebietsretention nicht ausschließlich dem Hochwasserschutz dient, vielmehr steht das Wasserrückhaltepotenzial in enger Beziehung zu anderen Naturraumpotenzialen wie z. B. dem Arten- und Biotopschutzpotenzial oder dem natürlichen Ertragspotenzial (ebenda). Sollen diese Synergieeffekte ausgenutzt werden, müssen die Belange frühzeitig im Planungsprozess berücksichtigt und in integrativen Maßnahmenkonzepten zusammengeführt werden (RÜTER et al., 2006). Hierzu bietet sich die Landschaftsplanung besonders an. Aufgabe der Landschaftsplanung ist es, die Ausprägungen der Naturraumpotenziale im jeweils betrachteten Planungsraum darzulegen, Konflikte aufzuzeigen und Vorschläge zu unterbreiten, wie diese Funktionen flächendeckend und im Kontext mit anderen Landschaftsfunktionen in Zukunft zu entwickeln sind. Wie bereits ASSMANN (2001) feststellt, ist eine Durchsetzung von Hochwasser-

schutzmaßnahmen ohne eine Betrachtung der ökologischen Folgen und der Veränderungen des Landschaftsbildes heute nicht mehr möglich. Je mehr verschiedene Interessen in einer Planung kombiniert werden können, desto weniger Konflikte sind zu erwarten (vgl. ASSMANN et al., 1998; ASSMANN und GÜNDRA, 1999).

Die Aussagen der Landschaftsplanung sind in Planungen und Verwaltungsverfahren, deren Entscheidungen sich auf Natur und Landschaft auswirken können, zu berücksichtigen (z. B. bei der Aufstellung von Raumordnungsplänen und Bauleitplänen) (§ 14 Abs. 2 BNatSchG). Dieser integrationsfähige Beitrag ist sehr bedeutsam, weil „*die flächendeckende und ursachen- bzw. verursacherbezogene Betrachtungsweise handlungs- und entscheidungsrelevante Zusammenhänge sowie Lösungsansätze aufzeigt und begründet*“ (RIEDL, 2001: 56). Als vorsorgendes und querschnittsorientiertes Planungsinstrument nimmt die Landschaftsplanung damit unter den Fachplanungen eine besondere Stellung im System der räumlichen Planung ein, weil sie die ökologische Grundlage für eine nachhaltige Raumentwicklung liefert.

Als Instrumente stehen auf den verschiedenen Planungsebenen das Landschaftsprogramm (§ 15 BNatSchG), der Landschaftsrahmenplan (§ 15 BNatSchG) und der Landschaftsplan (§ 16 BNatSchG) zur Verfügung. Im Freistaat Sachsen ist die Landschaftsplanung in den §§ 4-7 SächsNatSchG geregelt. Für die Ebenen der Landes- und Regionalplanung hat man sich für eine frühestmögliche Verknüpfung der Landschaftsplanung mit der räumlichen Gesamtplanung (sog. Primärintegration) entschieden. So übernehmen der Landesentwicklungsplan zugleich auch die Funktion des Landschaftsprogramms und die Regionalpläne die Funktion der Landschaftsrahmenpläne (§ 3 Abs. 1 und § 4 Abs. 1 SächsLPIG, § 5 Abs. 4 SächsNatSchG). Durch diese frühzeitige Integration soll gewährleistet werden, dass die raumordnerischen Festlegungen auf der Grundlage einer fundierten Bewertung von Natur und Landschaft erfolgen und raumordnerisch relevante Inhalte der Landschaftsplanung durch Grundsätze und Ziele der Raumordnung gesichert werden können. Die nicht raumordnerisch relevanten Inhalte der Landschaftsplanung sollen dem Landesentwicklungsplan bzw. den Regionalplänen als Anlage beigefügt werden.

8.1.3.1.1 Defizite in der Planungspraxis

Wie die Analyse der Regionalpläne im Muldeinzugsgebiet (HENZE, 2005) zeigt, werden die prinzipiellen Vorteile der Primärintegration in der Praxis nicht genutzt. So konnte für alle Regionalpläne eine landschaftsrahmenplanerische Abwägungsgrundlage mit der geforderten umfassenden Bewertung sowie Ziel- und Maßnahmenkonzeption für Natur und Landschaft nicht ausgemacht werden. HENZE (2005) führt dies darauf zurück, dass die ausgewerteten Regionalpläne die erste Plangeneration nach der Wiedervereinigung darstellen und unter extrem hohem Zeitdruck nur in minimaler Form erstellt wurden. Aber auch Untersuchungen von BÖHM et al. (1998) und FRERICHS et al. (2003) belegen, dass die Möglichkeiten hochwasserschutzrelevanter Inhalte in der Landschaftsplanung bei Weitem nicht ausgeschöpft werden. Aussagen zum vorbeugenden Hochwasserschutz erfolgen in der Praxis - wenn überhaupt - aufbauend auf der Bearbeitung der Schutzgüter

Wasser und Boden, indem die Retentionsfunktion oder die Grundwasserneubildungsrate ermittelt werden. Mit Hilfe einer flächendeckenden Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung sowie Daten zum Boden und zur Hangneigung wird das Muster von Flächen abgebildet und hinsichtlich des Retentionsvermögens beurteilt. Wie eine Analyse von verschiedenen Methoden (z. B. DÖRHÖFER und JOSOPAIT, 1980; SCHRÖDER und WYRWICH, 1990) und die Auswertung von Fallbeispielen gezeigt hat, werden komplexere hydrologische Methoden bzw. Modelle kaum als Basis verwendet und die erforderlichen Parameter zur Ermittlung der Retention auch nicht immer vollständig berücksichtigt (GÄNSRICH UND WOLLENWEBER, 1995). Vor dem Hintergrund der hohen Anforderungen an die Abgrenzung von Flächen mit einem effektiven Senkenpotenzial für den Hochwasserschutz (Kapitel 3) ist daher zu fordern, dass die Landschaftsplanung zukünftig anspruchsvollere Methoden anwendet.

8.1.3.1.2 Umsetzungsmöglichkeiten der Landschaftsplanung

Ein wichtiges Ziel für die Zukunft muss es sein, dass die Landschaftsplanung ihre Möglichkeiten im Sinne des gesetzlichen Auftrags ausschöpft und der räumlichen Gesamtplanung geeignete Konzepte zur Umsetzung von integrativen Hochwasserschutz- und Naturschutzmaßnahmen zurarbeitet. Hierfür ist eine engere Verzahnung von Naturschutz und Wasserwirtschaft hinsichtlich hochwasserschutzrelevanter Daten und Methoden notwendig. Sollen die Fachbeiträge des Naturschutzes in wasserwirtschaftliche Konzepte und in die räumliche Gesamtplanung integriert werden und soll dem Hochwasserschutzaspekt im Naturschutz mehr Bedeutung verliehen werden, sind differenzierte Aussagen in Bezug auf die Wirksamkeit von Maßnahmen erforderlich. Eine verbesserte Qualität der Aussagen würde es der räumlichen Gesamtplanung erleichtern, diese zur notwendigen Begründung von Maßnahmen heranzuziehen (vgl. BÖHM et al., 1998). Hydrologische Modelle, wie sie der Potenzialkarte und den Maßnahmenkarten zu Grunde gelegt wurden, können der Landschaftsplanung als Grundlage dienen.

In den Bereichen mit hohem Wasserrückhaltepotenzial können die planerischen Instrumente des Naturschutzes und der Landschaftspflege eine vorsorgende Flächensicherung betreiben. Die Darstellungen der Landschaftsplanung können über folgende Instrumente umgesetzt werden:

- Fachbeiträge als informelle Planwerke des Naturschutzes (z. B. Hinweise zur Entwicklung von Biotopverbundsystemen, Aufforstung, Umstellung auf pfluglose Bodenbearbeitung)
- Ausweisung von naturschutzrechtlichen Vorrang- oder Schutzgebieten in den Hochwasserminderungsgebieten (z. B. NSG, LSG, FFH)
- Steuerung der Landnutzung über Schutzgebietsverordnungen, Pflege- und Entwicklungspläne und/oder vertragliche Regelungen mit den Grundstückseigentümern bzw. -nutzern (Vertragsnaturschutz)
- Berücksichtigung im Rahmen der Anwendung der Eingriffsregelung (fachliche Ausgestaltung der Kompensationsmaßnahmen, Bündelung der Maßnahmen in Flächenpools und Öko-Konten, Auswahl geeigneter Flächen)

8.1.3.2 **Rechtlicher Rahmen der Raumordnung für die Umsetzung von Hochwasserschutzaspekten**

Das Raumordnungsgesetz (ROG) definiert die Aufgaben und die Leitvorstellung der Raumordnung in der Bundesrepublik Deutschland. Es legt Grundsätze der Raumordnung fest und enthält Vorgaben für die Gesetzgebung der Länder zur Landes- und Regionalplanung und den Instrumenten für die Sicherung und Verwirklichung der Erfordernisse der Raumordnung. In Sachsen gilt das Gesetz zur Raumordnung und Landesplanung des Freistaates Sachsen (SächsLPIG) als Grundlage für eine geordnete räumliche Entwicklung.

Unter Grundsätzen der Raumordnung werden allgemeine Aussagen zur Entwicklung, Ordnung und Sicherung des Raumes als Vorgaben für nachfolgende Abwägungs- oder Ermessensentscheidungen verstanden (§ 3 Abs. 3 ROG). Sie werden im § 2 Abs. 2 ROG durch den Bund festgelegt, können jedoch durch weitere Grundsätze der Länder ergänzt werden, sofern diese den Vorgaben der §§1 und 2 Abs. 2 ROG nicht widersprechen. Die Grundsätze der Raumordnung sind von öffentlichen Stellen bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen sowie bei Entscheidungen über die Belange raumbedeutsamer Vorhaben von Privaten in der Abwägung und bei Ermessensentscheidungen zu berücksichtigen (§ 4 Abs. 1 ROG). Dies bedeutet, dass die Formulierung von Grundsätzen auf den folgenden Planungsebenen eine intensive Auseinandersetzung mit den Themenbereichen erfordert. Grundsätze, welche die Bauleitplanung betreffen, sind in die bauleitplanerischen Entscheidungen als Abwägungsmaterial einzustellen.

Ziele der Raumordnung sind gemäß § 3 Abs. 2 ROG verbindliche Vorgaben in Form von räumlich und sachlich bestimmten, abschließend abgewogenen Festlegungen der Landesentwicklung. Die Festlegung der Ziele soll durch die Träger der Landes- und Regionalplanung abschließend textlich oder zeichnerisch in Raumordnungsplänen erfolgen. Der Bund hingegen legt keine Ziele fest. Die Ziele der Raumordnung sind von öffentlichen Stellen bei ihren Planungen und Maßnahmen, einschließlich Genehmigungen und Zulassungsverfahren, als rechtsverbindliche Vorgaben zu beachten (§ 4 Abs. 1 ROG). Sie sind damit einer Abwägung nicht zugänglich. Die Kommunen müssen ihre Bauleitplanung den Zielen der Raumordnung anpassen (§ 1 Abs. 4 BauGB).

In § 1 Abs. 1 ROG wird als wesentliche Zielsetzungen der Raumordnung genannt, unterschiedliche Anforderungen an den Raum aufeinander abzustimmen, Konflikte auszugleichen und Vorsorge für einzelne Raumfunktionen und Raumnutzungen zu treffen. Hochwasserschutz ist als Aufgabe der Daseinsvorsorge in diesen allgemeinen Zielbestimmungen implizit enthalten (PANEBIANCO, 2002). Im § 2 ROG wird die allgemeine raumordnerische Zielsetzung für die Landes- und Regionalplanung durch einen Grundsatz konkretisiert, welcher den vorbeugenden Hochwasserschutz explizit fordert. Demnach ist *„[...] für den vorbeugenden Hochwasserschutz [...] zu sorgen, im Binnenland vor allem durch Sicherung und Rückgewinnung von Auen, Rückhalteflächen und überschwemmungsgefährdeten Bereichen“* (§ 2 Abs. 2 Nr. 8 ROG). Dieser Grundsatz gilt unmittelbar, d. h. ohne Umsetzung in Landesrecht, für alle öffentlichen Planungen und Maßnahmen. Der hier im Mittelpunkt stehende

Wasserrückhalt in der Fläche wird zudem durch den Grundsatz „Die Naturgüter, insbesondere Wasser und Boden, sind sparsam und schonend in Anspruch zu nehmen; [...] bei dauerhaft nicht mehr genutzten Flächen soll der Boden in seiner Leistungsfähigkeit erhalten oder wiederhergestellt werden“ (§ 2 Abs. 2 Nr. 8 ROG) impliziert. Der Gesetzgeber macht auf diese Weise deutlich, dass die räumliche Gesamtplanung vor allem in den Handlungsbereichen Schutz, Schaffung bzw. Wiederherstellung von Retentionsräumen sowie dem Flächenrückhalt einen Beitrag für den vorsorgenden Hochwasserschutz leisten soll (DAPP et al., 2000).

Um die raumordnerischen Grundsätze zum Hochwasserschutz weiter zu konkretisieren, wurde durch das Artikelgesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes vom 03.05.2005 in den allgemeinen Vorschriften über Raumordnungspläne in § 7 Abs. 2 Nr. 2 ROG ein neuer Buchstabe d) ergänzt, wonach Freiräume zur Gewährleistung des vorbeugenden Hochwasserschutzes zu der von den Raumordnungsplänen anzustrebenden Freiraumstruktur gehören. In § 7 Abs. 3 Satz 2 Nr. 5 ROG wurde weiterhin die Klarstellung getroffen, dass die raumbedeutsamen Erfordernisse und Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes zu den raumbedeutsamen Festlegungen gehören, die durch Ziele und Grundsätze der Raumordnung in den Raumordnungsplänen gesichert werden können (RECHENBERG, 2005). Obwohl dezentrale Maßnahmen im Freiraum oder in der Siedlungswasserwirtschaft nicht direkt angesprochen werden, wird die Auseinandersetzung mit dem Hochwasserschutz durch die Formulierungen des ROG für die räumliche Gesamtplanung verpflichtend, d. h. dass in Abwägungs- und Ermessensentscheidungen von der Landes- bis hin zur kommunalen Ebene die Aspekte des Hochwasserschutzes neben anderen Belangen berücksichtigt werden müssen (vgl. DAPP et al., 2000).

8.1.3.3 Landesentwicklungsplan

Die zentralen raumordnerischen Instrumente zur vorsorgenden Steuerung von Raumfunktionen und -nutzungen im Sinne des Hochwasserschutzes sind die Raumordnungspläne (§ 7 ROG). Ansätze zur Erarbeitung von fachplanerischen Grundlagen sowie zur planungsinstrumentellen Umsetzung von Maßnahmen finden sich u. a. bei DAPP et al. (2000), GREIVING (2001), RÖDER und ADOLPH (2006), RÖDER und BEYER (2002), SIEGEL (2001), SIEGEL und RICHTER (2002) und SCHUMACHER (2001). Nach GREIVING (2001) kann die überörtliche Raumplanung prinzipiell folgende Funktionen übernehmen:

8.1.3.3.1 Materielle Funktionen

- Formulierung von Leitvorstellungen, Zielen und Grundsätzen (Programmierungsfunktion);
- Abstimmung raumbedeutsamer Planungen und Maßnahmen insbesondere der Wasserwirtschaft, der Agrarplanung und des Naturschutzes (Koordinationsfunktion);
- Freihaltung von Flächen im Vorsorgeinteresse (Flächenvorsorge), dadurch Beeinflussung von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenspotenzial (Steuerungsfunktion);
- Räumliche Separierung von Schutzgütern einerseits und Risikopotenzialen andererseits im Rahmen der Standortfindung für überörtliche Anlagen (Lenkungsfunktion);

- Ausgleich raumwirksamer Vor- und Nachteile von Hochwasserschutzmaßnahmen (Steuerungsfunktion).

8.1.3.3.2 Verfahrensfunktionen

- Beteiligung der öffentlichen Planungsträger inklusive der Kommunen (und u. U. auch Privatpersonen) bei der Planaufstellung und bei Raumordnungsverfahren;
- Moderation von Verhandlungs- und Kooperationsprozessen beteiligter Planungsträger.

Der Landesentwicklungsplan (LEP) ist der Raumordnungsplan für das Gesamtgebiet des Freistaates Sachsen (§ 8 ROG, § 3 SächsLPIG). Er wird von der obersten Raumordnungs- und Landesplanungsbehörde aufgestellt und von der Staatsregierung als Rechtsverordnung beschlossen. Er legt die Grundzüge der im Freistaat Sachsen angestrebten räumlichen Ordnung und Entwicklung fest und konkretisiert die Grundsätze des ROG. Aufgabe der Landesentwicklung⁷ ist es, auf der Grundlage aller raumbezogenen Fachplanungen (z. B. Verkehr, Wirtschaft, Wohnen, Naturschutz) wesentliche raumbedeutsame Entwicklungsziele zu erarbeiten und diese als Grundsätze und Ziele im LEP zu definieren. Insbesondere sollen Festlegungen zur Raumstruktur getroffen werden (§ 7 Abs. 2 ROG) sowie raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen von öffentlichen Stellen und Personen des Privatrechts aufgenommen werden, soweit sie zur Aufnahme in Raumordnungspläne geeignet und zur Koordinierung von Raumansprüchen erforderlich sind (§ 7 Abs. 3 ROG). Dazu gehören nach § 7 Abs. 3 Nr. 1 ausdrücklich die Fachpläne des Wasserrechts und damit auch künftige Bewirtschaftungspläne, die im Rahmen der EU-Wasserrahmenrichtlinie vorgesehen sind (GREIVING, 2001).

8.1.3.3.3 Festsetzungsmöglichkeiten im Landesentwicklungsplan

Zu den Festlegungsmöglichkeiten gehören nach § 7 Abs. 4 ROG Vorrang-, Vorbehalts- und Eignungsgebiete. Vorranggebiete stellen Ziele der Raumordnung dar und sind von den Gemeinden als standortgebundene Einschränkungen der kommunalen Planungshoheit hinzunehmen. Vorbehaltsgebiete dagegen stellen lediglich Grundsätze der Raumordnung dar. Mit ihnen soll der jeweiligen raumbedeutsamen Nutzung oder Funktion bei Planungen gegenüber konkurrierenden Nutzungen ein besonderes Gewicht bei der Abwägung beigemessen werden (§ 7 Abs. 4 Nr. 2 ROG). Die Gemeinde kann sich jedoch, ein Vorliegen höherwertiger Belange vorausgesetzt, im Rahmen der Abwägung über ihre Bauleitplanung auch gegen die vorbehaltene Funktion oder Nutzung entscheiden und für das Vorbehaltsgebiet (oder Teile hiervon) eine Nutzung vorsehen, die dem Vorbehalt widerspricht.

Die Darstellungsmöglichkeiten für Vorrang- und Vorbehaltsgebiete wurden nicht in allen Ländern genutzt. Gerade im Falle des landesweit und teils über die Landesgrenzen hinaus relevanten

⁷ Im Freistaat Sachsen wird der Begriff „Landesentwicklung“ verwendet. Er ist gleichbedeutend mit dem Begriff „Landesplanung“ im Sinne von § 6 ROG.

Hochwasserschutzes ist es jedoch angeraten, von dieser durch das Raumordnungsgesetz eröffneten Option Gebrauch zu machen.

Zum Zweck des vorbeugenden Hochwasserschutzes durch Wasserrückhalt in der Fläche möglich und zur Bindung abweichender Regionalplanungen erforderlich sind im LEP insbesondere textliche Zielaussagen (Programmierungsfunktion nach Greiving, 2001). Die folgenden Tabellen (Tabelle 29 - Tabelle 31) stellen dar, welche Aussagen hierzu derzeit im LEP (2003) des Freistaates Sachsen getroffen werden und welche Ergänzungen zur Verbesserung des Gebietswasserrückhaltes vorgeschlagen werden. Die frühzeitige und umfassende Integration in den LEP ist von entscheidender Bedeutung, weil sich die Gebietskategorien und Handlungsaufträge der Regionalplanung unmittelbar aus diesem ergeben. Die wesentliche vorgeschlagene Neuerung stellt die verstärkte Berücksichtigung der Bereiche mit hohem Wasserrückhaltepotenzial, welche mit der Potenzialkarte für das Muldeinzugsgebiet ermittelt wurden, bei der Formulierung der Ziele und Grundsätze zum vorbeugenden Hochwasserschutz dar. Diese Bereiche sollen durch die Regionalplanung nach landeseinheitlichen Vorgaben als sog. „Hochwasserminderungsgebiete“, d. h. als Gebiete, die effektiv zur Reduzierung von Hochwasserabflüssen beitragen können, festgesetzt und über die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten gesichert werden. Die Aufnahme des Hochwasserschutzes als Grundsatz in das ROG sowie die verschiedenen Beschlüsse der Ministerkonferenz für Raumordnung unterstützen dies (z. B. MKRO, 2000).

Einen weiteren Ansatz stellt die Verknüpfung der Ausweisung von Hochwasserminderungsgebieten mit „Sanierungsbedürftigen Bereichen“ und „Bereichen mit besonderen Nutzungsanforderungen“ dar. Die Verknüpfung mit den Zielen des Hochwasserschutzes bietet sich insbesondere für landwirtschaftliche Intensivgebiete an, weil hier Handlungsansätze wie Flurholzanreicherung oder Nutzungsextensivierung auch mit Zielen des flächenhaften Wasserrückhalts verbunden werden können. Weil i.d.R. mehrere Fachplanungsträger mit unterschiedlichen Zielsetzungen beteiligt sind, ist die Ausrichtung ihrer Ziele und Maßnahmen auf eine integrative Entwicklungsperspektive der räumlichen Gesamtplanung als bedeutsam einzuschätzen (GREIVING, 2001). Dabei ist insbesondere auf Synergieeffekte mit der Landschaftsplanung zu achten, weil sich die Ziele und Maßnahmen des Naturschutzes und des Hochwasserschutzes gut miteinander kombinieren lassen (siehe Kapitel 7). Weil auf die landwirtschaftliche Nutzung als wichtiger Einflussfaktor der Hochwasserentstehung über raumplanerische Festsetzungen nur in geringem Maße Einfluss genommen werden kann, sollte in Zukunft eine Verbindung von in der Raumplanung dargestellten Gebietskulissen mit der Verausgabung von Mitteln für Agrarumweltmaßnahmen angestrebt werden. Die Maßnahmen würden so gezielt in Gebieten mit hohem Handlungsbedarf für den Hochwasser-, Boden- oder Biotopschutz gelenkt und die bereitstehenden finanziellen Mittel sehr viel effizienter eingesetzt, als dies bei einer Verteilung ohne Standort- und Bedarfsbindung der Fall ist.

Tabelle 29: Aussagemöglichkeiten im Landesentwicklungsplan (§ 8 ROG, § 3 SächsLPIG)/Unterstreichungen sind den Aussagen des LEP (2003) als Ergänzungsvorschläge hinzugefügt

Handlungsbereich	Grundlage	Aussage	Begründung
Ziele und Grundsätze der Raumordnung zum vorbeugenden Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche	Z 4.1.4 LEP	<p>In den Regionalplänen sind Gebiete mit erheblichen Beeinträchtigungen des Naturhaushalts als „Sanierungsbedürftige Bereiche der Landschaft“ unter Berücksichtigung der in der Begründung genannten Kriterien auszuweisen und Festlegungen zur Art der Sanierung zu treffen.</p> <p>Soweit erforderlich, sind Gebiete, in denen auf Grund der besonderen Empfindlichkeit eines oder mehrerer Schutzgüter ein hohes Gefährdungsrisiko besteht, als „Bereiche der Landschaft mit besonderen Nutzungsanforderungen“ gemäß den in der Begründung genannten Kriterien auszuweisen und Festlegungen zu Art und Umfang der Nutzungen zu treffen.</p>	<p>Bei „Sanierungsbedürftigen Bereichen der Landschaft“ handelt es sich um Gebiete, in denen eines oder mehrere Schutzgüter wie Boden, Wasser, Klima, Luft, Pflanzen- und Tierwelt sowie Landschaftsbild erheblich beeinträchtigt sind. „Bereiche der Landschaft mit besonderen Nutzungsanforderungen“ sind Gebiete, in denen auf Grund besonderer naturräumlicher Empfindlichkeiten und den daraus resultierenden Gefährdungsrisiken besondere Anforderungen an Nutzungs- und Bewirtschaftungsformen gestellt werden müssen, um die Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts zu gewährleisten.</p> <p>Als „Sanierungsbedürftige Bereiche der Landschaft“ kommen insbesondere in Betracht: [...]</p> <p>- <u>Gebiete mit erheblicher Beeinträchtigung des Wasserrückhaltevermögens</u></p> <p>Als „Bereiche der Landschaft mit besonderen Nutzungsanforderungen“ kommen insbesondere in Betracht: [...]</p> <p>- Hochwasserentstehungsgebiete, - <u>Gebiete mit hohem Wasserrückhaltepotenzial (Hochwasserminderungsgebiete)</u></p>
	G 4.3.3 LEP	<p>Niederschlagswasserabflüsse sind weitgehend durch Versickerung, Verminderung des Anteils befestigter Flächen sowie dezentrale Bewirtschaftung zu minimieren.</p> <p>Nicht oder nur gering verschmutztes Niederschlagswasser ist, gegebenenfalls verzögert, direkt dem natürlichen Wasserkreislauf wieder zuzuführen.</p>	<p>Die Verringerung des Direktabflusses von Niederschlagswasser dient der Sicherung der Grundwasserneubildung, der Reduzierung des Kostenanteils für die Niederschlagswasserentsorgung und dem Hochwasserschutz, <u>insbesondere in Bereichen mit hohem Wasserrückhaltepotenzial (Hochwasserminderungsgebiete)</u>.</p> <p>Niederschlagswasser soll nicht mit dem übrigen Abwasser abgeleitet und behandelt werden, sondern entstehungsnah in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt werden.</p>
	G 4.3.4 LEP	<p>Der Hochwasserschutz soll landesweit und grenzüberschreitend vorrangig durch vorbeugende Maßnahmen gewährleistet werden. Die Nutzung des natürlichen Wasserrückhaltevermögens <u>insbesondere in Bereichen mit hohem Wasserrückhaltepotenzial (Hochwasserminderungsgebiete)</u> und die Gewährleistung eines uneingeengten, gefahr- und schadlosen Hochwasserabflusses besitzt Vorrang vor der Errichtung von Hochwasserschutzanlagen. Bei Bedarf soll der erforderliche Hochwasserschutz ergänzend durch technische Hochwasserschutzanlagen gewährleistet werden.</p>	<p>Vorbeugender Hochwasserschutz ist nicht ausschließlich eine wasserwirtschaftliche Aufgabe, sondern erfordert eine umfassende fachübergreifende und grenzüberschreitende Betrachtung der Hochwasserrisiken und Vorsorgemaßnahmen. Einen wesentlichen Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz kann die Raumordnung mit ihren Instrumenten leisten.</p> <p>[...]Die Erfahrungen der Hochwasserereignisse belegen, dass Hochwasserschutz bereits in den Quellgebieten der Flüsse ansetzen muss. Dabei ist es günstiger, hochwasserauslösende Niederschlagsmengen durch darauf ausgerichtete Flächennutzung oder in natürlichen Überschwemmungsräumen (Flussauen) und damit in den Einzugsgebieten und am Gewässer zurückzuhalten, als Hochwasserabflüsse beschleunigt durch ausgebaute und eingedeichte Flussläufe zu leiten. <u>In den Regionalplänen sind als Vorgabe für die Bauleitplanung flächendeckend schutzbedürftige Bereiche für den Wasserrückhalt in der Fläche festzulegen (Hochwasserminderungsgebiete) [...]</u></p>

Tabelle 30: Aussagemöglichkeiten im Landesentwicklungsplan (§ 8 ROG, § 3 SächsLPIG)/Unterstreichungen sind den Aussagen des LEP (2003) als Ergänzungsvorschläge hinzugefügt

Handlungsbereich	Grundlage	Aussage	Begründung
Ziele und Grundsätze der Raumordnung zum vorbeugenden Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche	G 4.3.5 LEP	Für den vorbeugenden Hochwasserschutz sollen vorrangig solche Flächennutzungen und Maßnahmen erfolgen, die einen Wasserrückhalt in der Fläche, die Erhöhung der Infiltration, den verzögerten Abfluss und die Grundwasseranreicherung begünstigen.	<p>Als Maßnahmen, die einen günstigen Einfluss auf das Wasserrückhaltevermögen haben, bieten sich an: [...]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Umwandlung von Ackerflächen in Dauergrünland oder Wald, vor allem in erosionsgefährdeten Hang-, Tallagen und Überschwemmungsbereichen der Auen, - Verzicht auf die Umwandlung von Grünland in Ackerland auf diesen Flächen, - Anwendung von bodenschonenden Bewirtschaftungs- bzw. Anbau- und Bestellverfahren zur Erhaltung einer hohen Infiltrationsfähigkeit,
	G 4.3.6 LEP	<p>In den Regionalplänen sind insbesondere in den potenziellen Hochwasserentstehungsgebieten <u>sowie in den Bereichen mit hohem Wasserrückhaltepotenzial (Hochwasserminderungsgebiete)</u> „Bereiche der Landschaft mit besonderen Nutzungsanforderungen“ gemäß Ziel 4.1.4 auszuweisen sowie weitere Freiraumfunktionen, die auch dem Wasserrückhalt dienen, durch die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten sowie regionalen Grünzügen zu sichern.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Erhalt, Aufbau von <u>schlaggliedernden</u> Strukturen (z. B. <u>Hecken, Gras-/Krautstreifen</u>), die die Hänge (Abflussbahnen) unterteilen/unterbrechen [...] <p>Mit der Ausweisung von „Bereichen der Landschaft mit besonderen Nutzungsanforderungen“ gem. Ziel 4.1.4 können Planungen und die Durchführung von konkreten Maßnahmen festgelegt werden, auf deren Umsetzung die Regionalplanung unter Einbeziehung der betroffenen Akteure hinwirken kann. Aber auch die Sicherung von Freiräumen und Freiraumfunktionen durch die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten sowie regionalen Grünzügen dienen dem vorbeugenden Hochwasserschutz und sollten insbesondere in den Hochwasserentstehungsgebieten <u>sowie in den Bereichen mit hohem Wasserrückhaltepotenzial (Hochwasserminderungsgebiete)</u> auch unter dem Gesichtspunkt der positiven, ausgleichenden Wirkungen für den Wasserhaushalt angewendet werden. In Betracht kommen Ausweisungen gemäß Ziel 4.1.9; Ziel 4.2.2, Ziel 4.4.4, Ziel 9.1, Ziel 9.4 und <u>Ziel 9.5</u>.</p> <p>Für diese Gebiete können in den Regionalplänen Festlegungen getroffen werden, die gewährleisten, dass alle raumbedeutsamen Flächennutzungsänderungen in diesen Gebieten auf ihre Konsequenzen zur Abflussbildung geprüft werden (siehe auch Ziel 4.1.4). Maßnahmen, die zur weiteren merklichen Verringerung des Wasserrückhalts im Gebiet führen können, sind zu unterlassen oder wenn im öffentlichen Interesse eine solche Änderung sinnvoll erscheint, muss die Verringerung des Wasserrückhalts durch eine entsprechende Maßnahmen, ggf. auch technische Maßnahmen, ausgeglichen werden. [...]</p> <p>Die o. g. Maßnahmen gelten im gesamten Einzugsbereich der Flüsse. Auf Grund des hohen Gefährdungsrisikos sollte die Regionalplanung aber in erster Linie Ausweisungen in den potenziellen Hochwasserentstehungsgebieten <u>sowie in den Hochwasserminderungsgebieten</u> vornehmen. [...] <u>Hochwasserminderungsgebiete sind Gebiete mit einem besonders hohen Wasserrückhaltepotenzial. Als Grundlage für die Ermittlung von Hochwasserminderungsgebieten sind nach landeseinheitlichen Vorgaben einzugsgebietsbezogene Karten zum qualitativ-quantitativen Senkenpotenzial der Böden heranzuziehen.</u></p>

Tabelle 31: Aussagemöglichkeiten im Landesentwicklungsplan (§ 8 ROG, § 3 SächsLPIG)/Unterstreichungen sind den Aussagen des LEP (2003) als Ergänzungsvorschläge hinzugefügt

Handlungsbereich	Grundlage	Aussage	Begründung
<p>Ziele und Grundsätze der Raumordnung zum vorbeugenden Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche</p>	<p>Z 4.3.8 LEP</p>	<p>In den Regionalplänen sind nach den in der Begründung aufgeführten Kriterien Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz</p> <ul style="list-style-type: none"> - für vorhandene und rückgewinnbare Überschwemmungsbereiche zur Gewährleistung und Verbesserung des Wasserrückhalts in der Fläche (Retentionsraum), - für Risikobereiche in potenziellen Überflutungsbereichen, die bei Versagen bestehender Hochwasserschutzeinrichtungen oder Extremhochwasser überschwemmt werden können, zur Minimierung möglicher Schäden (Hochwasservorsorge) <u>und</u> - für <u>Bereiche mit besonders hohem Wasserrückhaltevermögen (Hochwasserminderungsgebiete)</u> <p>auszuweisen und Festlegungen zu Art und Umfang der Nutzungen in diesen Gebieten zu treffen.</p>	<p>[...] <u>Zur Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens in den Einzugsgebieten sind in den auf fachplanerischer Grundlage ermittelten Hochwasserminderungsgebieten Vorbehaltsgebiete zum vorbeugenden Hochwasserschutz in der Fläche auszuweisen. Zu diesen Gebieten werden in den Regionalplänen Festlegungen getroffen, die gewährleisten, dass alle raumbedeutsamen Flächennutzungen auf ihre Konsequenzen auf die Abflussbildung geprüft werden. In den Gebieten sind bevorzugt Planungen durchzuführen und Maßnahmen umzusetzen, die geeignet sind, das Wasserrückhaltepotenzial im Sinne des Hochwasserschutzes auszunutzen (siehe auch Begründung zu G 4.3.5 u. G 4.3.6). Maßnahmen, die zu einer merklichen Verringerung des Wasserrückhalts führen können, sind möglichst zu unterlassen oder wenn im öffentlichen Interesse eine solche Änderung sinnvoll erscheint, soll die Verringerung des Wasserrückhalts durch entsprechende Maßnahmen ausgeglichen werden. In den Vorbehaltsgebieten ist dem vorbeugenden Hochwasserschutz in der Abwägung mit anderen raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen besonderes Gewicht beizumessen.</u></p>

8.1.3.4 Regionalplanung

Die raumordnerische Gesamtkonzeption des LEP für Sachsen wird in den Regionalplänen (§ 4 SächsLPIG) für fünf Planungsregionen sachlich und räumlich ausgeformt. Der Regionalplan konkretisiert die Ziele und Grundsätze des LEP auf der Grundlage einer Bewertung von Natur und Landschaft nach den regionalen Besonderheiten und gibt damit einen Rahmen für die Bauleitplanung der Gemeinden vor. Die Regionalpläne füllen damit zugleich die Funktion der Landschaftsrahmenpläne nach § 5 SächsNatSchG aus, die in Primärintegration mit der Regionalplanung erstellt werden (siehe auch Kapitel 8.1.3.1). Die Festsetzungen des Regionalplans üben auf alle öffentlichen 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 den Zielen der Raumordnung und Landesplanung, die als abschließend abgewogene Festsetzungen eine umfassende Beachtungspflicht ohne weitere Abwägungsmöglichkeiten bewirken, und den Grundsätzen der Raumordnung, die von nachfolgenden Planungsträgern lediglich zu berücksichtigen und damit einer Abwägung zugänglich sind.

Neben der Verankerung des Hochwasserschutzes durch den Gesetzgeber hat auch die Ministerkonferenz für Raumordnung die Rolle der Regionalplanung für den vorsorgenden Hochwasserschutz im Bereich dezentraler Maßnahmen betont. Demnach sind „[...] neben Maßnahmen zum vorbeugenden Hochwasserschutz an Flüssen und in ihren Abfluss- und Retentionsbereichen [...] auch im gesamten Einzugsgebiet Maßnahmen zum Wasserrückhalt zu ergreifen“ (MKRO, 2000, Abschnitt 8). Dies kann geschehen, indem Vorgaben für die Bauleitplanung gemacht werden, die Flächeninanspruchnahme und Versiegelung begrenzen sowie für Flurneuordnung und Forstplanung hochwasserschutzrelevante flächenspezifische Aussagen getroffen werden. Durch die Anpassungspflicht der Kommunen nach § 1 Abs. 4 BauGB an die Ziele der Raumordnung und Landesplanung hat die Regionalplanung die Möglichkeit, ein gemeindeübergreifendes Vorgehen auch über die wasserrechtlichen Festsetzungsmöglichkeiten hinaus (insb. Überschwemmungsgebiete) durch nachvollziehbare und mit anderen Belangen abgestimmte gemeindeübergreifende Festlegungen im Bereich des dezentralen Hochwasserschutzes sicherzustellen (vgl. DAPP et al., 2000).

8.1.3.4.1 Analyse existierender Regionalpläne im Muldeeeinzugsgebiet

Von den fünf Planungsregionen Sachsens befinden sich die Regionen Chemnitz-Erzgebirge, Oberes Elbtal–Osterzgebirge, Westsachsen und Südwestsachsen im Muldeeeinzugsgebiet (Abbildung 86). Am Beispiel der geltenden Regionalpläne wurde von HENZE (2005) untersucht, welche Aussagen zum Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche aktuell getroffen werden (Tabelle 32). Die zu Grunde liegenden Regionalpläne bilden die erste Generation von Regionalplänen in Sachsen und sind 2001/2002 in Kraft getreten. Sie basieren noch auf den Aussagen des Landesentwicklungsprogramms 1994, d. h. die nach dem Hochwasserereignis 2002 in das neue LEP

(2003) aufgenommenen Vorgaben zum vorbeugenden Hochwasserschutz wurden noch nicht berücksichtigt.

Ein eigenständiger Beitrag zum Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche konnte in keinem der vier Regionalpläne ausgemacht werden. Wie die Gegenüberstellung in Tabelle 32 zeigt, werden geeignete Maßnahmen zum Wasserrückhalt im Siedlungsbereich und in der freien Landschaft zwar in sämtlichen Planwerken angesprochen, ein direkter Bezug zum Hochwasserschutz ist allerdings nicht vorhanden. Der wesentliche Grund hierfür ist nach HENZE (2005) in den fehlenden Grundlagendaten zu sehen. Die Datenerhebung bzw. -bereitstellung liegt in den Händen der jeweiligen Fachplanungen von z. B. Wasserwirtschaft und Landschaftsplanung (als Bestandteil der Regionalplanung), welche aufgefordert sind ihren Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz zu leisten und durch die Integration in die Regionalplanung umzusetzen. Entsprechende fachplanerische Grundlagen zur Abgrenzung von besonders geeigneten Gebieten für den Wasserrückhalt (wie sie mit HONAMU erarbeitet wurden) lagen der Regionalplanung zur damaligen Zeit aber nicht vor. Sie sollten aber nach §§ 2 und 14 BNatSchG zu den Standardinhalten und Darstellungen der Landschaftsplanung gehören (siehe Kapitel 8.1.3.1).



Abbildung 86: Planungsregionen im Muldeinzugsgebiet

Tabelle 32: Beitrag der Regionalplanung zum vorbeugenden Hochwasserschutz im Muldeinzugsgebiet/Stand der Regionalpläne 2001/2002 (HENZE, 2005)

Maßnahmen	RP Chemnitz-Erzgebirge		RP Oberes Elbtal-Osterzgebirge		RP Westsachsen		RP Südwestsachsen	
	A	H	A	H	A	H	A	H
Siedlungsbereich								
vor Ort Versickerung von Niederschlagswasser in Siedlungsbereichen	X	-	X	-	X	-	-	-
Reduzierung Flächeninanspruchnahme und Versiegelungsgrad	X	-	-	-	X	-	X	-
Freie Landschaft								
standortgerechte Landnutzung auf erosionsgefährdeten Flächen	X	-	X	-	X	-	X	-
Erhöhung der Wasseraufnahmekapazität der Böden	X	-	-	-	-	-	X	-
Ökologischer Landbau	X	-	X	-	X	-	X	-
Sicherung und Wiederherstellung von Feuchtgebieten	X	-	X	-	X	-	X	-
Förderung von naturnahem Wald	X	-	X	-	X	-	X	-
Erstaufforstung	X	-	X	-	X	-	X	-
Strukturierung und Flurholzanreicherung in der Landschaft	X	-	X	-	X	-	X	-
A = im Regionalplan angesprochen H = separater Hinweis auf Hochwasserschutz								

Die dargestellte Problematik und der resultierende Handlungsbedarf werden durch die folgenden Abbildungen (Abbildung 87 - Abbildung 89) anhand eines exemplarischen Landschaftsausschnitts verdeutlicht.

Abbildung 87 gibt die Ergebnisse der Potenzialkarte für den Bereich zwischen Chemnitz, Mittweida und Freiberg wieder. Blau abgegrenzt sind die Bereiche mit besonderer Bedeutung für das Wasserrückhaltevermögen, die in besonderem Maße als Hochwasserminderungsgebiete fungieren können und eine entsprechende planerische Berücksichtigung finden sollten. Abbildung 88 und Abbildung 89 stellen dar, welche Festlegungen im geltenden Regionalplan (RPV Chemnitz-Erzgebirge 2002) für den gleichen Landschaftsausschnitt getroffen werden. Es wird deutlich, dass große Überschneidungen zwischen den Flächenabgrenzungen der Potenzialkarte und den regionalplanerischen Ausweisungen (z. B. Vorrang-/Vorbehaltsgebiete Landwirtschaft, Landschaftsbild oder Natur und

Landschaft) sowie sanierungsbedürftigen Bereichen der Landschaft (z. B. Flurholzanreicherung, Erosionsschutz) bestehen. Es werden jedoch im Regionalplan keinerlei direkte inhaltliche Festsetzungen zum vorbeugenden Hochwasserschutz in diesen Bereichen getroffen und die genannten Gebietskategorien auch nicht als Überlagerungsmöglichkeit im Sinne des Hochwasserschutzes genutzt. Hierdurch werden den regionalplanerischen Festlegungen wichtige Argumente entzogen, was den Hochwasserschutz in der Abwägung gegenüber anderen Belangen nicht bzw. weniger durchsetzungsstark macht.

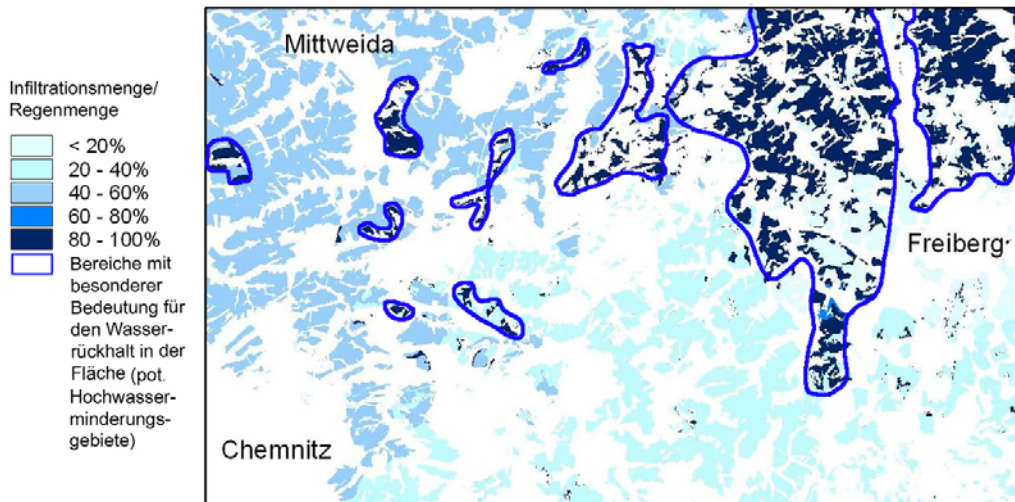


Abbildung 87: Ergebnisse der Potenzialkarte: Infiltration von Niederschlag in den Boden (Acker) (Kostra Bemessungsregen: 72 h Dauer, Wiederkehrwahrscheinlichkeit 100 Jahre, Vor-Regen-Entwässerung: 5 Tage)

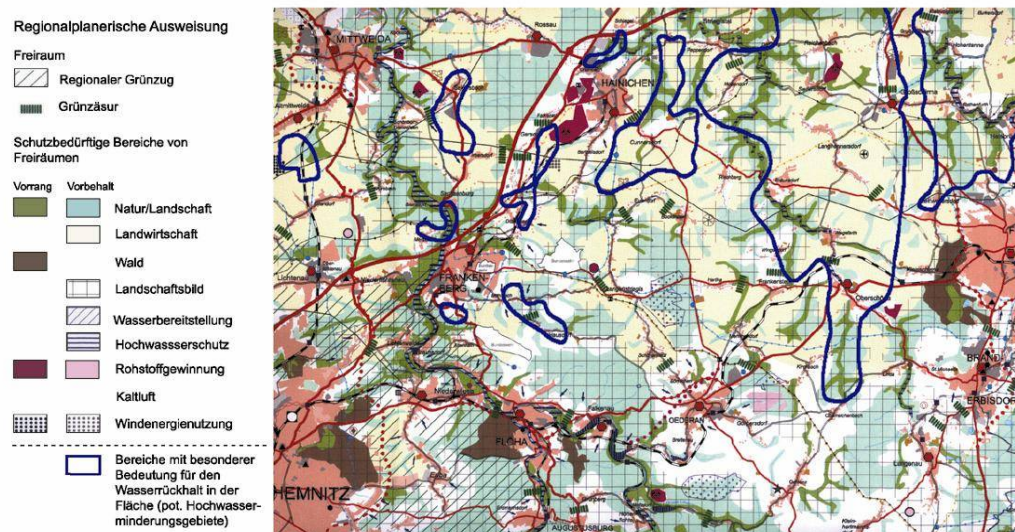


Abbildung 88: Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge – Raumnutzungskarte (RPV Chemnitz-Erzgebirge, 2002, Karte 2); überlagert mit Ergebnissen der Potenzialkarte (pot. Hochwasserminderungsgebiete)

Regionale Schwerpunkte:

Grundwassersanierung

- Erkundungsgebiet Grundwassersanierung

Erhöhung Waldanteil

- großräumig waldarmes Gebiet
- multifunktionale Walderwartung

Flurholz anreicherung

- sehr gehölzarmes Gebiet

Erosionsschutz

- mäßige bis starke Wasser-Erosionsanfälligkeit

- Bereiche mit besonderer Bedeutung für den Wasserrückhalt in der Fläche (Pot. Hochwasserminderungsgebiete)

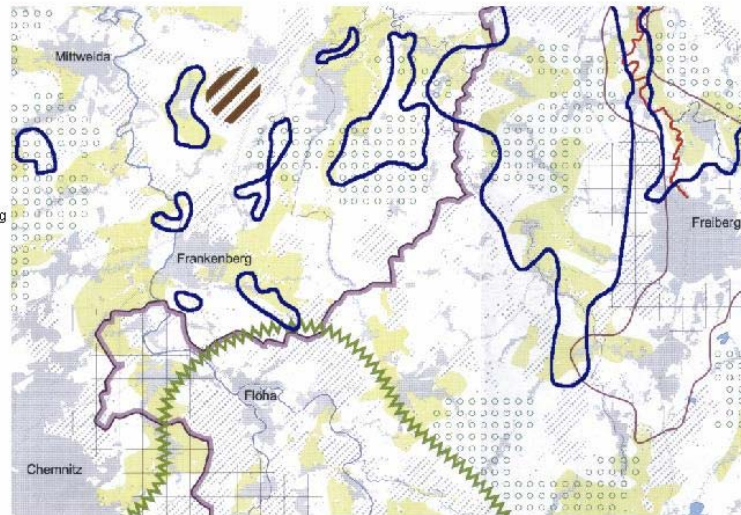


Abbildung 89: Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge – Sanierungsbedürftige Bereiche der Landschaft (RPV Chemnitz-Erzgebirge, 2002, Karte 4); überlagert mit Ergebnissen der Potenzialkarte (pot. Hochwasserminderungsgebiete)

Tabelle 33: Festsetzungsmöglichkeiten im Regionalplan (§ 9 ROG, § 4 SächsLPIG)

Handlungsbereich Maßnahmen	Festsetzungsmöglichkeiten		Überlagerungsmöglichkeiten	
	Grundlage	Inhalt	Grundlage	Inhalt
Flächensicherung und Raumnutzungssteuerung in Bereichen mit besonderer Bedeutung für den Wasserrückhalt in der Fläche (Hochwasserminderungsgebiete) <u>Fachplanerische Grundlagen:</u> <i>Landschaftsrahmenplan, Potenzialkarte, Maßnahmenkarten</i>	§ 7 Abs. 4 Nr. 2 ROG Z 4.3.8 LEP	Vorbehaltsgebiet für den vorbeugenden Hochwasserschutz - Bereiche mit besonders hohem Wasserrückhaltepotenzial (Hochwasserminderungsgebiete)	§ 7 Abs. 4 Nr. 1 ROG § 7 Abs. 4 Nr. 2 ROG Z 4.1.9 LEP Z 4.2.2 LEP Z 9.1 LEP Z 9.4 LEP Z 9.5 LEP	Vorranggebiete und Vorbehaltsgebiete, insb.: - Natur und Landschaft (Landschaftsbild/Landschaftserleben) - Natur und Landschaft (Arten- und Biotopschutz) - Landwirtschaft - Waldmehrung - Schutz des vorhandenen Waldes
	§ 7 Abs. 2 Nr. 2 ROG Z 4.1.4 LEP	Sanierungsbedürftige Bereiche der Landschaft - Gebiete mit erheblicher Beeinträchtigung des Wasserrückhaltevermögens	Z 4.1.4 LEP	Sanierungsbedürftige Bereiche / Bereiche der Landschaft mit besonderen Nutzungsanforderungen, insb.: - gehölzarme Gebiete / Flurholzanreicherung - starke Wassererosionsanfälligkeit / Erosionsschutz
	§ 7 Abs. 2 Nr. 2 ROG Z 4.1.4 LEP Z 4.3.6 LEP	Bereiche der Landschaft mit besonderen Nutzungsanforderungen - Regionale Schwerpunkte Wasserrückhaltung	Z 5.1.9 LEP Z 4.2.2 LEP Z 4.4.4 LEP	Regionale Grünzüge und Grünzäsuren Ökologisches Verbundsystem Böden mit besonderer Funktionalität
	§ 3 Nr.2 u. 3 ROG	Ziele und Grundsätze der Raumordnung - textliche Festlegungen zur Sicherung und angepassten Nutzung von Flächen mit besonderer Bedeutung für den Wasserrückhalt (Hochwasserminderungsgebiete) sowie zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft		

8.1.3.4.2 Festsetzungsmöglichkeiten im Regionalplan

Die Regionalpläne in Sachsen befinden sich seit Inkrafttreten des neuen Landesentwicklungsplanes 2003 in der Überarbeitung. Es sollte daher unbedingt die Gelegenheit genutzt werden, die in der vorliegenden Arbeit für das Muldeinzugsgebiet erarbeiteten Datengrundlagen zum Wasser-rückhalt in der Fläche aufzunehmen. Die hierfür geeigneten Festsetzungsmöglichkeiten ergeben sich aus dem Landesentwicklungsplan und aus den diesbezüglichen Ergänzungsvorschlägen in Kapitel 8.1.3.3.

Die Tabelle 33 enthält eine Übersicht, wie die Inhalte der Potenzial- und Maßnahmenkarte den Gebietskategorien der Raumordnung zugeordnet werden können. Diese Tabelle sollte der kartographischen und textlichen Umsetzung zu Grunde gelegt und nach Bedarf um weitere regionale bzw. lokal bedeutsame Inhalte ergänzt werden. Da eine zeichnerische Darstellung auf Grund der z. T. geringen räumlichen Ausdehnung der geeigneten Flächen auf regionaler Ebene nicht oder nur schwer möglich ist, sollten ggf. Beikarten zum Regionalplan mit entsprechenden textlichen Zielaussagen angelegt werden.

Mit der Verankerung der dezentralen Maßnahmen in den Regionalplänen sollen vor allem die Kommunen Impulse erhalten, sich stärker für den vorbeugenden Hochwasserschutz einzusetzen (SIEGEL und RICHTER, 2002). Außerdem sollen die relevanten Ziele an die Fachplanungen herange-tragen werden, die vorwiegend auf der regionalen Ebene agieren (z.B. Agrarstrukturelle Rahmen-planung, Forstliche Rahmenplanung). Eine Einschränkung ihrer Wirksamkeit erfährt die Regionalplanung allerdings dadurch, dass sie lediglich behördeninterne Verbindlichkeit besitzt. So sind private Akteure wie z. B. Landwirte, die maßgeblich durch die Bewirtschaftung ihrer Flächen zum Hochwasserschutz beitragen können, nicht an die Aussagen der Regionalplanung gebunden. Ausnahmen sind dann gegeben, wenn Flurbereinigungen stattfinden. Hier können sehr gut auf lokaler Ebene hochwassermindernde Maßnahmen in der Fläche umgesetzt werden. PANEBIANCO (2002) weist zudem darauf hin, dass Festsetzungen der Regionalplanung auch deshalb gerechtfertigt sind, weil die privaten Akteure etwa über Interessenvertreter wie z. B. Landwirtschaftskammern oder entsprechende Landesanstalten indirekt beeinflusst werden können. Der Informations- und Überzeugungsaspekt regionalplanerischer Festsetzungen darf aus diesem Grund nicht unter-schätzt werden. Gemäß dem Subsidiaritätsprinzip ist die Regionalplanung nur dazu legitimiert, solche Festsetzungen zu treffen, die nicht auf anderen Ebenen mit anderen Instrumenten effizienter und mit einer geringeren obrigkeitlichen Eingriffsintensität erfolgen können (ebenda). Die Regional-planung stellt deshalb nur einen, wenn auch wesentlichen, Teil der verfolgten Planungsstrategie dar. Genau so ist denkbar, dass bestimmte Ziele und Maßnahmen durch andere Fachplanungen sowie Beratungs- und Förderinstrumente einfacher verwirklicht werden können.

8.1.3.5 Bauleitplanung

Die Aufgabe der Bauleitplanung ist es, die bauliche und sonstige Nutzung der Grundstücke in der Gemeinde nach Maßgabe des Baugesetzbuches vorzubereiten und zu leiten (§ 1 Abs. 1 BauGB). Als Bauleitpläne stehen der Kommune der Flächennutzungsplan nach § 5 BauGB als vorbereitender Bauleitplan und der Bebauungsplan nach § 9 BauGB als verbindlicher Bauleitplan zur Verfügung. Die Gemeinden haben die Bauleitpläne in eigener Planungshoheit aufzustellen. Übergeordnete Belange der Raum- und Landesplanung sowie fachplanerische Belange z. B. der Landschaftsplanung sind dabei zu berücksichtigen bzw. zu beachten.

Die Bauleitplanung bietet zahlreiche Möglichkeiten, die verschiedenen Handlungsfelder des vorsorgenden Hochwasserschutzes zu verankern⁸ (z. B. ARL, 2003; DAPP et al., 2000; FRERICHS et al., 2003; REMBIERZ, 2001). Zwar wird der Hochwasserschutz in den Grundsätzen der Bauleitplanung nach § 1 Abs. 5 BauGB nicht explizit erwähnt, doch sind durch das Artikelgesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes bei der Aufstellung der Bauleitpläne nunmehr die Belange des Hochwasserschutzes neben den anderen Belangen zu berücksichtigen (§ 1 Abs. 6 Nr. 12 BauGB). Darüber hinaus ist der Hochwasserschutz als Teilaufgabe von anderen explizit im BauGB aufgeführten Belangen zu betrachten (vgl. LÜERS, 1996 in: DAPP et al., 2000). So hat die Bauleitplanung u. a. die Belange des Umweltschutzes, einschließlich des Naturschutzes und der Landschaftspflege, insbesondere des Wassers und des Bodens (§ 1 Abs. 5 Nr. 7 BauGB) zu berücksichtigen und ist einer sparsamen und schonenden Inanspruchnahme von Boden verpflichtet (§ 1a Abs. 2 BauGB). Besonders das Gebot in § 1 Abs. 5 Satz 1 BauGB, wonach die Bauleitplanung eine menschenwürdige Umwelt zu sichern und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln hat, erfordert die Auseinandersetzung mit dem Hochwasserschutz. Den konkreten Stellenwert legen die Kommunen im Rahmen ihres planerischen Ermessens durch die Abwägungsentscheidung nach § 1 Abs. 6 BauGB fest (DAPP et al., 2000). Im Landschaftsplan sollten für das Gemeindegebiet entsprechende Darstellungen getroffen werden, die dann in die Bauleitplanung zu integrieren sind. Bei Nichtberücksichtigung muss diese nach §14 Abs. 2 BNatSchG explizit begründet werden.

8.1.3.5.1 Darstellungsmöglichkeiten im Flächennutzungsplanung

In Tabelle 34 ist dargestellt, welche Darstellungsmöglichkeiten im Flächennutzungsplan in Betracht kommen. Sie bieten in erster Linie die Möglichkeit, bestimmte Flächennutzungen zu verorten und die Flächenausdehnung der Nutzungen über Art und Maß der baulichen Nutzung zu begrenzen. Dadurch kann die Gemeinde die Vorentscheidung über die Sicherung und Erweiterung von geeigneten Flächen zum Wasserrückhalt fällen. Zudem können bedeutsame Flächen für die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung in dem Gesamtgebiet der Gemeinde dargestellt werden.

⁸ 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.

Über die Festsetzung von Flächen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft und über Flächen zum Ausgleich im Rahmen der Eingriffsregelung ist es möglich, landschaftspflegerische Maßnahmen planerisch vorzubereiten und Synergieeffekte mit dem Naturschutz auszunutzen. Darüber hinaus ist eine Ausweisung als geschützter Landschaftsbestandteil nach §§ 22 und 50 SächsNatSchG möglich. Die Eingriffsregelung bietet sich als Instrument zur Sicherung relevanter Flächen und zur Entwicklung hochwasserangepasster Nutzungen an. Sie kann bei entsprechender Ausgestaltung und geeigneten örtlichen Verhältnissen genutzt werden, um über einen Flächenpool Bereiche mit besonderer Bedeutung für den Wasserrückhalt dauerhaft für die Hochwasservorsorge zu sichern (vgl. FRERICHS et al., 2003). Dies ist möglich, wenn Hochwasserschutzfunktionen durch den Eingriff beeinträchtigt werden oder im Rahmen der Maßnahmenausgestaltung bei der Kompensation von Beeinträchtigungen der Biotop-, Boden- oder Erholungsfunktion. Vor diesem Hintergrund sind die Belange des vorbeugenden Hochwasserschutzes auch in die Begründung und Maßnahmenvorschläge mit den Angaben nach § 2a BauGB (Umweltbericht) aufzunehmen.

8.1.3.5.2 Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan

Die Darstellungen des Flächennutzungsplans werden durch Festsetzungen in Bebauungsplänen weiter konkretisiert (Tabelle 35). Die Bebauungsplanung ist für jedermann verbindlich, so dass diese unmittelbaren Einfluss auf private Akteure nehmen kann. Die Festsetzungsmöglichkeiten beziehen sich primär auf die Minimierung des Versiegelungsgrades oder die Versickerung von Niederschlagswasser, umfassen aber auch Begrünungsmaßnahmen sowie Flächen und Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft sowie zum Ausgleich im Rahmen der Eingriffsregelung.

8.1.3.5.3 Darstellungsmöglichkeiten der Maßnahmen

Auf der Grundlage des Maßnahmenkatalogs (Kapitel 4.2) wurden Planzeichen erarbeitet, die zur Darstellung in den Bauleitplänen angewendet werden können (Abbildung 90:). Bei der Entwicklung wurde auf eine Verwendbarkeit für die Bauleitplanung geachtet. Die Planzeichen wurden daher auf Grundlage der Planzeichenverordnung für Bauleitpläne entwickelt (vgl. SIEGEL, 2001; SCHMUDE und SIEGEL, 2001).

	Konservierende Bodenbearbeitung		Schlaguntergliederung durch Grünstreifen
	Direktsaatverfahren		Schlaguntergliederung durch Gras-/ Krautstreifen
	Konturnutzung		Anlage von Gras-/ Krautsäumen
	Aufforstung		Anlage von Gewässerrandstreifen
	Umwandlung von Acker in Grünland		Schlaguntergliederung durch Hecken
	Flächenstilllegung		Anlage von Feldgehölzen
	Schlagverkleinerung		Begrünung von Abflussbahnen
			Anlage von Abflussmulden

Abbildung 90: Planzeichen Maßnahmenkatalog Landwirtschaft

Tabelle 34: Darstellungsmöglichkeiten im Flächennutzungsplan (§ 5 BauGB)

Handlungsbereich / Maßnahmen	Darstellungsmöglichkeiten		Überlagerungsmöglichkeiten	
	Grundlage	Inhalt	Grundlage	Inhalt
Darstellung von bedeutsamen Flächen für den Rückhalt von Niederschlagswasser Übernahme der Ziele und Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes und des Naturschutzes <u>Fachplanerische Grundlagen:</u> <i>Landschaftsplan, Potenzialkarte, Maßnahmenkarten, Maßnahmensteckbriefe</i>	§ 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB	Flächen für den Hochwasserschutz und die Regelung des Wasserabflusses	§ 5 Abs. 2a BauGB	Flächen zum Ausgleich im Sinne des § 1a Abs. 3 BauGB
	§ 5 Abs. 2 Nr. 5 BauGB	Grünflächen mit geeigneter Zweckbestimmung		
	§ 5 Abs. 2 Nr. 9a BauGB	Flächen für die Landwirtschaft		
	§ 5 Abs. 2 Nr. 9b BauGB	Flächen für Wald*		
	§ 5 Abs. 2 Nr. 10 BauGB	Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft		
	§ 5 Abs. 2 Nr. 1 BauGB	Für die Bebauung vorgesehene Flächen (Begrenzung von neuen zu bebauenden Flächen)		
	§ 5 Abs. 2 Nr. 4 BauGB	Flächen für die Abwasserbeseitigung (Flächen für die zentrale Versickerung)		
	§ 5 Abs. 2 Nr. 6 BauGB	Flächen für Nutzungsbeschränkungen oder für Vorkehrungen zum Schutz gegen schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes		
§ 5 Abs. 5 BauGB	Begründung und Maßnahmenvorschläge mit den Angaben nach § 2a BauGB			
* eingeschränkter Handlungsspielraum durch BWaldG und SächsWaldG				

Tabelle 35: Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan (§ 9 BauGB)

Handlungsbereich / Maßnahmen	Festsetzungsmöglichkeiten		Überlagerungsmöglichkeiten	
	Grundlage	Inhalt	Grundlage	Inhalt
Festsetzung von Flächen für den Rückhalt von Niederschlagswasser Festsetzung von Flächen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft <u>Fachplanerische Grundlagen:</u> <i>Landschaftsplan,</i> <i>Grünordnungsplan,</i> <i>Potenzialkarte, Maßnahmenkarten, Maßnahmensteckbriefe</i>	§ 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB	Gebiete für den Hochwasserschutz und die Regelung des Wasserabflusses*	§ 9 Abs. 1a BauGB	Flächen oder Maßnahmen zum Ausgleich im Sinne des § 1a Abs. 3 BauGB
	§ 9 Abs. 1 Nr. 15 BauGB	Grünflächen mit geeigneter Zweckbestimmung		
	§ 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB	Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind und ihre Nutzung		
	§ 9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB	Flächen für Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser		
	§ 9 Abs. 1 Nr. 18a BauGB	Flächen für die Landwirtschaft		
	§ 9 Abs. 1 Nr. 18b BauGB	Flächen für Wald**		
	§ 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB	Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft		
	§ 9 Abs. 1 Nr. 1-4 BauGB	Begrenzung von neuen für die Bebauung vorgesehenen Flächen***		
	§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB	für einzelne Flächen oder für ein Bebauungsplangebiet oder Teile davon sowie für Teile baulicher Anlagen mit Ausnahme der für landwirtschaftliche Nutzungen oder Wald festgesetzten Flächen*** a) das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen, b) Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern		
	§ 9 Abs. 4 BauGB i.V.m. Bauordnung	Versickerungsanlagen und Möglichkeiten der Versickerung		
§ 9 Abs. 8 BauGB	Begründung und Maßnahmenvorschläge mit den Angaben nach § 2a BauGB			
* unter Beachtung des Subsidiaritätsprinzips ** eingeschränkter Handlungsspielraum durch BWaldG und SächsWaldG *** Schwerpunkt Siedlungsbereich				

8.1.4 Fazit

Es zeigt sich, dass die Möglichkeiten der wasserwirtschaftlichen Planungsinstrumente zur Durchsetzung von dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen sehr begrenzt sind. Im Projekt HONAMU wurden fachplanerische Grundlagen zum vorbeugenden Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche in Form von Potenzial- und Maßnahmenkarten sowie Maßnahmensteckbriefen exemplarisch für das Muldeinzugsgebiet erarbeitet. Es wurden Wege aufgezeigt, wie die Ziele und Maßnahmen des dezentralen Hochwasserschutzes in die räumliche Planung integriert werden können. Die verschiedenen Disziplinen müssen bereit sein, in direkter Kooperation miteinander die individuellen Umsetzungspotenziale zu nutzen. Hierbei muss deutlich gemacht werden, dass die Ziele des Naturschutzes auch dem vorbeugenden Hochwasserschutz dienen und umgekehrt hochwasserschutzrelevante Maßnahmen aus naturschutzfachlicher Sicht unterstützt werden können. Auf diese Weise kann bereits auf Ebene der Kooperation der Fachplanungen begründet und eine argumentative Unterstützung hinsichtlich des Hochwasserschutzes erzielt werden.

Entscheidungen über integrative Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes sollten vor allem durch vorsorgende und querschnittsorientierte Planungsinstrumente vorbereitet werden. Hierbei sollte das Potenzial der Landschaftsplanung und der räumlichen Gesamtplanung zur Koordination und Integration verschiedener Interessen genutzt werden.

Die Regionalplanung kann einen besonderen Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz leisten, ist jedoch auf die Zuarbeit in Bezug auf die Hochwasserschutzpotenziale in der Fläche angewiesen. Ein wichtiges Ziel muss es daher sein, dass die Landschaftsplanung ihre Möglichkeiten im Sinne des gesetzlichen Auftrags ausschöpft und der räumlichen Gesamtplanung geeignete Konzepte zur Umsetzung von integrativen Hochwasserschutz- und Naturschutzmaßnahmen zurarbeitet. Eine verbesserte Qualität der Aussagen würde es der räumlichen Gesamtplanung erleichtern, diese zur notwendigen Begründung von Maßnahmen heranzuziehen. Hydrologische Modelle, wie sie der Potenzialkarte und den Maßnahmenkarten zu Grunde gelegt wurden, können der Landschaftsplanung als Grundlage dienen.

Ferner ist dafür Sorge zu tragen, dass die Planungsgrundlagen zum vorbeugenden Hochwasserschutz den zuständigen Ämtern und Behörden zugänglich gemacht werden (z. B. Agrarstrukturelle Planung, Forsteinrichtung). Hierfür wird vorgeschlagen, einen nach landeseinheitlichen Vorgaben erstellten Datenbestand aufzubauen und zentral zu verwalten, der von möglichst vielen Stellen genutzt werden kann (z. B. über die Internetseiten des SMUL).

8.2 Ökonomische Aspekte der Umsetzung

8.2.1 Ökonomische Bewertung der Maßnahmen

8.2.1.1 Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat

Sofern die aufgeführten Ergebnisse nicht anders gekennzeichnet sind, gelten die Ergebnisse für beide Anbauverfahren.

8.2.1.1.1 Betriebswirtschaftliche Erlöse und Kosten

Zunächst wird ein Blick auf die einzelwirtschaftliche Ebene in Form der möglichen Erträge auf den Ackerbaustandorten geworfen. Tendenziell gilt als gesichert, dass es bei Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung (langfristig) keine signifikanten Ertragsrückgänge (Mengenkomponente) auf den Standorten geben muss im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (vgl. BRAND-SASSEN, 2004: 139f.; KÖLLER und LINKE, 2001; TEBRÜGGE, 2003; BRUNOTTE und WAGNER, 2001; LÜTKE ENTRUP und SCHNEIDER, 2003; GKB, 2004; FA, 2004; EZG Mitteldeutscher Körnermaisbauern, 2002; BMBF, 2002; WEGENER, 2001; Südzucker AG, 2002). Damit bleiben relativ zur konventionellen Bodenbearbeitung die Erlöse stabil, auch wenn sie jährlich durch veränderte Marktpreise schwanken können. Auch die Qualität der Erntegüter bleibt konstant (vgl. WEGENER 2001: 62). Eine Vielzahl der Autoren geht davon aus, dass die konservierende Bodenbearbeitung daher das flächenmäßig dominante Verfahren in Europa werden wird (vgl. KÖLLER und LINKE 2001: 155). Mindestens 30 % der Ackerbaufläche Deutschlands gelten als geeignet für die Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung (vgl. KÖLLER/LINKE 2001).

Die Meinungen über die Höhe der Pflanzenerträge der Direktsaat sind in der Literatur nicht eindeutig. Viele Experten gehen (unter Verwendung von Praxisversuchen) von tendenziell stabilen Erträgen aus, während andere Quellen je nach Marktfrucht etwas geringere Erträge im Vergleich zur konventionellen Wirtschaftsweise ansetzen (vgl. BRAND-SASSEN, 2004; TEBRÜGGE, 2000; TEBRÜGGE, 2003; AGRARFORSCHUNG, 2005; AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, 2004; GKB, 2005; AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND NATUR, 2003; NITZSCHE, 2005b; JOSSI, 2004).

Die Erträge der landwirtschaftlichen Flächen hängen bedeutend von den vorhandenen Böden und den klimatischen Bedingungen sowie den verwendeten Früchten und Fruchtfolgen und den Bodenbearbeitungssystemen ab, wie untenstehend kurz erläutert wird. Eine weitere wesentliche Komponente stellt die Managementqualität dar, die hier aber vorerst als optimal und als fixer Faktor angenommen wird. Darüber hinaus wird der Ertrag besonders durch die (im jeweiligen Einzelbetrieb individuell verwendete) Kombination der eben genannten Faktoren determiniert (vgl. BRAND-SASSEN, 2004; KÖLLER und LINKE, 2001; BRUNOTTE und WAGNER, 2001).

In der Literatur finden sich differierende Meinungen zu geeigneten Bodenarten für die Verfahren. KÖLLER und LINKE (2001) stellen drei Klassen von Standorten auf, die nach ihrer Meinung für pfluglose Verfahren geeignet sind. Andere Autoren vertreten, gestützt auf Erfahrungen in der Praxis, die

Meinung, dass die konservierende Bodenbearbeitung auf allen Böden in allen Regionen sicher möglich ist und die oben zitierte Ansicht für die konservierende Bodenbearbeitung bereits überholt ist (vgl. NITZSCHE, 2005a; EZG Mitteldeutscher Körnermaisbauer, 2002). Für die Direktsaat sind trockene und schwere Böden vorteilhaft. Pflugverzicht wird nach der LWK Westfalen-Lippe nicht bei sand- und feinsandigen Böden empfohlen, weil sie zur Dichtlagerung neigen und nicht auf staunassen und grundwasserbeeinflussten Böden (vgl. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN 2007). In der Schweiz ist die Direktsaat auf leichten bis mittelschweren Standorten etabliert, allerdings noch nicht auf schweren Böden (vgl. AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, 2004).

NITZSCHE (2005a) hält eine Direktsaat auf allen Böden für möglich. Das Klima beeinflusst die Landwirtschaft und den Pflanzenwuchs besonders durch den jahreszeitlichen Temperaturverlauf (Lfl, 1999: 9) und die Niederschlagsverteilung als auch Nebel- und Frosthäufigkeit sowie durch Windstärken (SMUL, 1999: 6f.). Prinzipiell ist die konservierende Bodenbearbeitung in allen Klimazonen, in denen konventioneller Ackerbau praktikabel ist, erfolgreich möglich (KÖLLER und LINKE 2001: 80). Direktsaat und konservierende Bodenbearbeitung gewinnen durch ihre Wasser sparende Wirtschaftsweise auf Trockenstandorten an Bedeutung (HOLLMANN, 2003). Das Klima wirkt u. a. auf die durchschnittlichen Erträge und spiegelt sich in der Gebietsabgrenzung der sächsischen Agrarstrukturgebiete wider. Die Fruchtfolge ist definiert als die chronologische Aufeinanderfolge unterschiedlicher Kulturpflanzen auf ein und demselben Feld. Bei vielseitigen, aufeinander abgestimmten Fruchtfolgen besteht die Chance, dass die Erträge der einzelnen Früchte höher liegen (beispielsweise durch Fruchtfolgen, die einzelnen Pflanzen längere Vegetationsperioden ermöglichen oder bessere Bodenregeneration) und das Risiko von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen und Verunkrautung minimiert wird. Weiterhin ist es möglich, über vielseitige Fruchtfolgen, Arbeitspitzen zu senken (vgl. LÜTKE ENTRUP und SCHNEIDER, 2003; KÖLLER und LINKE, 2001; DEUTSCHE SAATENVEREDELUNG, 2003). Außerdem beeinflusst die Fruchtfolge die Höhe der Infiltrationsleistung (AKKERMANN 2004: 72f.).

Die Kosten der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung hängen wesentlich von der Bewirtschaftungsmethode, den verwendeten Anbaufrüchten und Fruchtfolgen sowie der Betriebsstruktur und -größe ab (vgl. BRUNOTTE und WAGNER, 2001; BRAND-SASSEN, 2004; KÖLLER und LINKE 2001). Die Betriebsgröße spielt eine wichtige Rolle (vgl. WÖLFLING, 1998), weil mit steigender Betriebsgröße i.d.R. auch die Kapitalausstattung, d. h. finanzielle Mittel und die Verfügbarkeit von Maschinen, Gebäuden etc. und die Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten steigen. Weiterhin ermöglicht die in Großbetrieben vorhandene Kapitalausstattung, dass zusätzliche Managementkosten (kostenpflichtige Seminare über die neue Methode, Dienstleistungsverträge mit Fachberatern etc.) eher finanziert werden können als in Kleinbetrieben, deren Kapitalausstattung möglicherweise zu gering ist. Größere Betriebe können ihre Fixkosten auf eine größere Menge an erstellten Produkten verteilen und so den Stückpreis senken und somit im Wettbewerb ihre Position stärken (INDUSTRIELLENVEREINIGUNG TIROL, 2005). Der Kapitalbedarf für die Ausstattung eines Betriebes mit der Technik für Bodenbearbeitung und Bestellung im konservierenden Verfahren liegt deutlich unter dem der

konventionellen Pflugvariante. Größere Betriebe weisen bei der Umstellung von der konventionellen Bodenbearbeitung zur konservierenden Methode ein höheres Einsparpotenzial auf als kleine Betriebe. Becker nennt ein Einsparpotential von 50 % bei Großbetrieben und 25 % bei kleineren Betrieben. Damit liegen für Großbetriebe die Kosten der Kapitalbeschaffung zum einen niedriger, zum anderen ist mehr Kapital für Anschaffungen vorhanden. Größere Betriebe sehen sich hier folglich in einer wesentlich günstigeren Situation als Kleinbetriebe (BECKER, 1997; KÖLLER und LINKE, 2001; WEGENER, 2001). Weiterhin können größere Betriebe konventionelle und konservierende Bodenbearbeitung parallel nutzen, um das Risiko einer sofortigen Komplettumstellung zu vermeiden (KÖLLER und LINKE 2001: 133). Wie oben beschrieben erschließt sich auch für kleinere Betriebe bei Nutzung der konservierenden Bodenbearbeitung ein Einsparpotenzial. Dies kann insbesondere bei Betriebsneugründungen wichtig sein, weil die Anschaffungskosten relativ zur konventionellen Maschinenausstattung geringer ausfallen (BECKER 1997: 56).

Durch die konservierende Bodenbearbeitung und die Direktsaat lassen sich deutlich Kosten im Bereich der variablen Kosten senken, u. a. durch die Einsparung des Pflügens (und damit der Verringerung der durch die geringere Arbeitszeit auf dem Acker anfallenden Lohnkosten, des Treibstoffverbrauchs (zwischen 20 und 60 % Ersparnis ,vgl. WEGENER 2001), weiterhin auch durch den geringeren Zugleistungsbedarf bei Grubbern (Kosten für Wartung und Reparaturen an Traktoren (variable Maschinenkosten) etc.) (vgl. KÖLLER und LINKE, 2001; BRAND-SASSEN, 2004; STRUBE-DIECKMANN, 2004; GKB, 2004; BECKER, 1997; FAL, 2004; TEBRÜGGE, 2003; WEGENER, 2001).

Kostenerhöhungen können bei beiden Verfahren im Bereich der Herbizide aufgrund der fehlenden phytosanitären Wirkung des Pfluges auftreten (z. B. im Einzeljahr verstärkter Einsatz von nichtselektiven Herbiziden) (vgl. TEBRÜGGE, 2003; NITZSCHE, 2005). Einige Autoren gehen davon aus, dass ein erhöhter Unkrautdruck nur in der Umstellungsphase ein größeres Problem darstellt und dass die Unkrautkontrolle bei konservierender Bodenbearbeitung auch ohne einen erhöhten Herbizidaufwand gut möglich ist (vgl. KÖLLER und LINKE, 2001).

Ein mögliches Problem bei Einsatz der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat stellt das Vorkommen von Pflanzenkrankheiten dar, durch welche Toxine gebildet werden, welche Mensch und Tier gefährden (z. B., Ährenfusariosen). Nach BMBF, SÜDZUCKER und TEBRÜGGE konnte auf Untersuchungsflächen sonst bei keiner weiteren Krankheit ein unterschiedlicher Befall in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsverfahren festgestellt werden (vgl. BMBF, 2002; SÜDZUCKER AG, 2002; TEBRÜGGE, 2003). Verstärktes Auftreten oder vermehrtes Auftreten von Fußkrankheitserregern konnten selbst bei hohem Getreideanteil in der Fruchtfolge in Praxisversuchen bei Tebrügge nicht nachgewiesen werden (TEBRÜGGE 2003: 56f.). DERPSCH (2005) und NITZSCHE (2005c) nennen als zwingenden Faktor für gesunde Pflanzen die durchdachte Fruchtfolge.

Ein höherer Aufwand zur Schädlingskontrolle als bei der konventionellen Bodenbearbeitung ist in den meisten Fällen nicht notwendig (vgl. KÖLLER und LINKE, 2001; BRUNOTTE und WAGNER, 2001;

BMBF, 2002). Unsicher ist die Situation lediglich bei der Maus- und Schneckenpopulation, da keine gesicherten, wissenschaftlichen Erkenntnisse vorliegen (vgl. BRUNOTTE und WAGNER, 2001; KÖLLER und LINKE, 2001; WEGENER, 2001).

Weiterhin lassen sich Wertverluste des Bodens aufgrund von Erosion durch die konservierende Bodenbearbeitung verhindern und monetarisieren. Dies können bis zu 95 % bei konservierender Bodenbearbeitung und 98 % bei Direktsaat sein, die Minderung ist aber je nach Standort variabel und wird z. B. durch die Hangneigung beeinflusst (vgl. ARBEITSGEMEINSCHAFT BODEN- UND GEWÄSSERSCHUTZ, 2000; BRAND-SASSEN, 2004; ABS, 2005; BRUNOTTE und WAGNER, 2001). Damit bleiben auch die Erträge der Flächen stabiler als bei konventioneller Wirtschaftsweise, denn stark erodierte Flächen können durch den verstärkten Nährstoffaustrag weniger Ertrag generieren (bis zu 34 % Ertragsverlust durch Erosion). Weiterhin können sich die Produktionskosten aufgrund von Erosion bis zu 25 % erhöhen (vgl. EUROPEAN CONSERVATION AGRICULTURE FEDERATION, 2005a). Außerdem wird das Risiko von Umbruch- und Neuansaatkosten bei Starkregenereignissen gesenkt, bzw. ist davon auszugehen, dass keine Umbruch- oder Neuansaatkosten bei Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung anfallen. Es ergibt sich alle 10 Jahre ein Nutzen von rund 135 €/ha (vgl. BRAND-SASSEN, 2004; KÖLLER und LINKE, 2001; GRÜNING, 2000).

8.2.1.1.2 Betriebswirtschaftliche Wertung

Insgesamt dominieren die Kostensenkungen bei der konservierenden Bodenbearbeitung, so dass bei gleich bleibenden Erträgen die konservierende Bodenbearbeitung in einer prozessualen Sichtweise (d. h. exklusive switching costs) gegenüber dem Pflug deutliche ökonomische Vorteile aufweist. Tebrügge nennt als Ergebnis seiner langfristigen Untersuchungen der konservierenden Bodenbearbeitung ökonomische Vorteile zwischen ca. 9 und 17 % (TEBRÜGGE 2003: 57). Ähnlich positive Einschätzungen finden sich auch bei KROPF (1999) und BRAND-SASSEN (2004). KÖLLER und LINKE (2001) und HOLLMANN (2003) nennen im Kostenbereich Einsparungen der Arbeitszeit von bis zu 50%. Hollmann nennt auf seinen untersuchten Standorten im Bereich der Arbeiterledigung Kosteneinsparungen zwischen 50 und 100 €/ha. Auf typischen Durchschnittsstandorten hält er zwischen 40 und 60 €/ha als Einsparungsdifferenz im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft für realistisch (vgl. HOLLMANN, 2004, 2003; LÜTKE ENTRUP und SCHNEIDER, 2003). Die Saatenunion schätzt als Kosteneinsparungspotenzial ca. 45 - 50 €/ha (Saatenunion, 2005). Die Südzucker AG nennt 25 - 75 €/ha Kostensenkung (SÜDZUCKER AG, 2002).

Für die Direktsaat ergeben sich signifikante ökonomische Vorteile, die nachweislich zwischen etwa 7 % bis zu ca. 20 % (TEBRÜGGE, 2003: 57; TEBRÜGGE, 2000: 10) liegen können. Für einen 200 ha Betrieb schätzt ABS (2005) ca. 30 €/ha an Ersparnis durch geringeren Dieselkraftstoffverbrauch, geringere Wertminderung an Maschinen und geringere Instandhaltungskosten. Die ECAF schätzt für die Direktsaat 40 - 60 € (Netto-) Kostenreduzierung jährlich unter südeuropäischen Bedingungen (EUROPEAN CONSERVATION AGRICULTURE FEDERATION, 2005a). Die Saatenunion schätzt reine Kosteneinsparungspotenziale von 10 €/ha im Vergleich zur konservierenden Bodenbearbeitung bei

gleichzeitig stabilen Erträgen sowie 45-50 € im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft (SAATENUNION, 2005). Maximale Kostensenkungen sind nach Erfahrungen in Sachsen (Betrieb Schönleber) möglich, wenn in Direktsaat Mais nach Winterweizen angebaut wird unter Einsatz eines Ährenstrippers bei der Weizenernte. Notwendig ist weiterhin eine Direktsaatmaschine mit Reihenträumern (NITZSCHE, 2005b: 2f). Die Ersparnis in dieser Methodik liegt zwischen 40,- und knapp 100,- € im Vergleich zur konservierenden Bodenbearbeitung. Die eventuell mögliche Herbizideinsparung ist hier noch nicht eingerechnet. Zusammenfassend weist die Direktsaat ein Einsparpotenzial zwischen 10,- und max. ca. 100,- €/ha im Vergleich zur konservierenden Bodenbearbeitung auf, je nach Kultur, Witterung und bisheriger Intensität der konservierenden Bodenbearbeitung (vgl. NITZSCHE, 2005b: 3; ferner auch HOLLMANN, 2003: 98).

Zur Veranschaulichung der Unterschiede in den Verfahren wird auf Tabelle 1 im Anhang Ökonomie verwiesen. Um vorzugreifen: Zwei weitere Tabellen zeigen eine durchschnittliche betriebswirtschaftliche Betrachtung (inklusive der im Text unten folgenden beschriebenen Umstellungskosten) der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat unter Verwendung von Barwerten der Nutzen und Kosten im Vergleich zur konventionellen Methode (Tabelle 2 und 3, Anhang Ökonomie). Die gesetzten Prämissen für die konservierenden Verfahren sind ebenfalls den Tabellen zu entnehmen und stellen ein Beispiel dar, eine Modifikation der Ausgangsbedingungen ist möglich. Die Kostensenkungen des konservierenden Verfahrens gegenüber der konventionellen Methodik werden in den Tabellen jeweils den größeren Nutzen des konservierenden Verfahrens gegenüber der konventionellen Methodik gegenübergestellt. Dies setzt die Annahme voraus, dass die konventionelle Methodik im Durchschnitt rentabel wirtschaftet.

Die Rechnungen bestätigen die obigen Ergebnisse der Literaturrecherche und der Befragung, weil sich positive Kapitalwerte ergeben. Nur im Fall kleiner Nebenbetriebe (hier mit 14 ha angenommen) ist die Anschaffung einer neuen Maschine nur für den eigenen Betrieb nicht an zu raten. Anders kann es sich verhalten, wenn z. B. die Anschaffungskosten mit einem Nachbarn geteilt werden. Die Umfrageergebnisse bei den Referenzbetrieben und die Literaturrecherche weisen außerdem darauf hin, dass bei kleinen Betrieben für die Umsetzung des Verfahrens nicht zwingend eine Maschinenneuanschaffung notwendig ist. Oft reicht hier der i.d.R. vorhandene Grubber. (Hinweis: Für eine erfolgreiche dauerhafte konservierende Bodenbearbeitung ist dann ggf. eine entsprechende Neutechnik (Flachgrubber mit hohem Durchlass für Stroh, Mulch-/Direktsätechnik usw.) erforderlich. Für diese Betriebe lohnt sich das neue Verfahren unter Verwendung alter oder geliehener Maschinen wahrscheinlich trotzdem, weil dann die für den negativen Kapitalwert Ausschlag gebenden Maschinenanschaffungskosten entfallen.

8.2.1.1.3 Einbezug von Umstellungskosten

Zusätzlich können zu den oben genannten Größen diverse „Umstellungskosten“ (BMBF, 2002: 100) auftreten: Switching costs sind zum einen die Kosten durch den Wechsel der Methode der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in Form einer notwendigen Neuanschaffung landwirtschaftli-

cher Geräte und Maschinen wie Grubber, Direktsaatmaschinen etc.. Sollte bei Verwendung der konventionellen Bewirtschaftung eine Maschinenneuanschaffung ohnehin anstehen und die Maschinenanschaffungskosten für die konservierende Bodenbearbeitung nicht wesentlich kostenintensiver ausfallen als die Beschaffung herkömmlicher Maschinen, so betragen die switching costs 0 und sind nicht entscheidungsrelevant (bzw. sogar positiv, wenn die neue Maschine für die konservierende Bodenbearbeitung weniger kostet als die neue Maschine der konventionellen Methode). Fallen eventuelle Kosten an, so richten sie sich wesentlich nach der Schlag- und Betriebsgröße, denn diese determiniert z. B. die erforderliche Traktorengröße- und Zugkraft oder die Breite landwirtschaftlicher Maschinen sowie deren Anzahl. Die Umstellungskosten für die konservierende Bodenbearbeitung sind betriebsabhängig und lassen sich daher nicht pauschalisieren.

BRAND-SASSEN nennt als Beispiel die Anschaffung von Universaldrillmaschinen in der Basisversion (Sägeräte mit 3 m Arbeitsbreite), die zwischen 20 000 und 28 000 € liegen können und einen erheblichen Kostenfaktor darstellen können, für vergleichbare Direktsaatmaschinen lassen sich hier ca. 33 000 € annehmen (BRAND-SASSEN 2004: 138). Diese Annahmen finden sich als Beispiel auch in den Tabellen 3 und 4 (Anhang Ökonomie). Die Investitionskosten und die Ausgaben für Instandhaltung für landwirtschaftliche Maschinen bei der Direktsaat liegen insgesamt aber weit niedriger als bei der konventionellen und der konservierenden Bodenbearbeitung, weil u. a. die Anschaffung eines Pfluges entfällt, Traktoren durch weniger Überfahrten weniger stark beansprucht werden etc. Laut der ECAF lassen sich durch die verminderten Überfahrten pro ha ca. 97 € aufgrund von geringerer Wertminderung und Instandhaltung sparen. Für einen 200 ha-Betrieb impliziert dies Einsparungen von etwa 1 940 € und einer Verminderung des Dieselbedarfs um 31,5 l/ha (vgl. TEBRÜGGE, 2000; EUROPEAN CONSERVATION AGRICULTURE FEDERATION, 2005a, c; SÜDZUCKER AG, 2002; ERLACH et al., 2004). TEBRÜGGE nennt um den Faktor 2 geringere Investitionskosten sowie geringere Instandhaltungskosten (Faktor 4) (TEBRÜGGE 2000: 9).

Der positive Effekt einer Bewirtschaftungsmaßnahme (vgl. BMBF, 2002) stellt sich möglicherweise erst nach einigen Jahren ein, z. B. weil sich die Fauna und Flora erst nach und nach entwickeln. Eine Umstellungsperiode wird meist mit zwei bis fünf Jahren angesetzt (vgl. KÖLLER und LINKE, 2001; FAL, 2004). In dieser Zeit verändern sich die Bodeneigenschaften. Deshalb, und weil die Betriebsleiter in dieser Zeit mit der neuen Methode noch wenig Erfahrung besitzen, kann es zu Ertragsschwankungen oder ggf. einer Düngemittel- oder Herbiziderhöhung kommen, die sich nach drei bis vier Jahren wieder stabilisiert.

Lernkosten bezeichnen den Umstand, dass der Betriebsleiter für die Einführung der neuen Bewirtschaftungsmethode kostenpflichtige Seminare besucht oder durch anfangs unsachgemäße Bewirtschaftung Ertragsrückgänge zu verzeichnen hat (vgl. KÖLLER und LINKE, 2001; BRAND-SASSEN, 2004). Der Betriebsleiter muss außerdem von der neuen Methode gehört haben oder sich überzeugen lassen. Verwurzelung in traditionellen Strukturen („wir haben schon immer mit dem Pflug gearbeitet“) kann eine Ursache für erhebliche Kosten darstellen, indem effiziente Bewirtschaftung

tungsmöglichkeiten konsequent abgelehnt werden oder nur nach kostenintensiver, langer Überzeugungsarbeit akzeptiert werden. Weiterhin ist oft Information über Schäden bei der konventionellen Methodik nicht vorhanden (z. B. Bodenverdichtung) (vgl. KÖLLER und LINKE, 2001; BRAND-SASSEN, 2004). Hier wird von der Annahme der fixen Managementqualität abgerückt und berücksichtigt, dass eine anfangs möglicherweise unsachgemäße Managementqualität bzw. Bewirtschaftung durch die Einführung der neuen und noch wenig bekannten Methode auftreten kann, aber nicht muss.

8.2.1.1.4 Erweiterung um volkswirtschaftliche Größen

Die konventionelle Landwirtschaft verursacht (je nach Autorenquelle) unterschiedlich hohe Belastungen in Form von externen Kosten; die Bestimmung dieser Kosten beinhaltet hohe Methodikprobleme, aus denen sich die Varianz der Kostenangaben erklärt (vgl. SRU 2004b: 174). Für die Gesamtbelastungen durch die derzeitig praktizierte Landwirtschaft schätzen z. B. PRETTY et al. (2002: 19ff) 115 €/ha/a und eine Gesamtsumme von 2,343 Mrd. englischen Pfund für Großbritannien (Jahr 2000) (vgl. SRU, 2004b; HÜBLER und SCHABLITZKI, 1991). Die ECAF schätzt die On- und Offsite-Kosten der konventionellen Landwirtschaft auf 85,5 € pro ha/a landwirtschaftlicher Nutzfläche. Die reinen Offsite-Kosten werden im Durchschnitt auf 32 €/ha/a geschätzt (vgl. EUROPEAN CONSERVATION AGRICULTURE FEDERATION, 2005c; TEBRÜGGE, 2000; EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR, 2003). Ein großer Teil der Kosten entsteht durch Erosion und dem Eintrag von schädlichen Stoffen in umliegende Ökosysteme. Durch die Beeinflussung der Infiltrationsrate des Bodens lassen sich die Wasserabflüsse und die Bodenabtragsrate signifikant senken. Damit stellen die konservierende Bodenbearbeitung und die Direktsaat einen aktiven Beitrag zum vorsorgenden Hochwasserschutz und zur Senkung der oben beschriebenen Schäden dar (BRAND-SASSEN, 2004: 149).

8.2.1.1.4.1 Hochwasserschutzaspekte

Eine Umstellung der Bewirtschaftung kann das Risiko und die Höhe von Hochwasserereignissen mindern. Ein Teil der Hochwasserschutzwirkung lässt sich über den verminderten Oberflächenabfluss beschreiben. Der Oberflächenabfluss des Niederschlagswassers verringert sich demnach im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft (gemittelt über acht verschiedene Bodenverhältnisse und HQ 10, 20, 50, 100) durchschnittlich um etwa 28 %. Das heißt, dass etwa ein Drittel mehr des Niederschlagswassers zurückgehalten werden kann. Somit ergibt sich eine mittlere Zunahme der Flächenretention von $10,8 \text{ l} \cdot \text{m}^2$. Zusätzlich zu den Simulationsergebnissen gibt AKKERMANN (2004) Literaturdaten an, die die Oberflächenabflussminderung der Niederschläge zwischen 12 und 52 % ansetzen.

Rechnet man, analog zu Akkermann, mit der Minimalannahme von 12 % Abflussreduzierung (4,6 mm), so ergibt sich ein zusätzlicher Netto-Wasserrückhalt von 3 mm bzw. $3 \text{ l} \cdot \text{m}^2$ (Anmerkung: 3 mm, weil vorsorglich ca. ein Drittel der 4,6 mm als schnelle, nicht rückhaltbare Abflüsse abgezogen wurden, die daher nicht dem Rückhalt dienen). Weil $2\,720,8 \text{ km}^2$ des Einzugsgebietes Ackerfläche sind, ließen sich bei dieser Minimalannahme (und bei 100 % umgestellter Fläche) max.

8 162 400 m³ Wasserabfluss pro Jahr verhindern (vgl. AKKERMANN 2004: 124f.). Nimmt man als obere Grenze einen durchschnittlichen Abflussminderungswert von 24 % an (der immer noch unter dem genannten Durchschnitt von 28 % liegt), so ließen sich 16 324 800 m³ Abfluss vermindern. Für die wassererosionsgefährdete Ackerfläche von Sachsen (450 000 ha bzw. 4 500 000 000 m²) ließen sich im schlechtesten Fall (3 mm) 13,5 Millionen Kubikmeter Speicher annehmen.

Der monetäre Nutzen der dargestellten Hochwasserschutzwirkung lässt sich zum einen durch Vermeidungskosten fassen (vgl. LWF, 2004). Wenn für den technischen Rückhalt einer bestimmten Menge Wasser Kosten anfallen, z. B. durch den Bau eines Polders, dann lassen sich Kosten pro Kubikmeter zurückgehaltenem Wasser ermitteln. Nimmt man an, dass eine bestimmte konservierend bewirtschaftete Fläche wieder konventionell bewirtschaftet wird und dadurch die entsprechende höhere Retentionsleistung der Fläche verloren geht, so kann man den fiktiven Mehrbedarf an Hochwasserschutzanlagen schätzen. Dieser so genannte Alternativkostenansatz findet z. B. im Kontext von Waldrodungen Verwendung. Somit ließe sich also der volkswirtschaftliche Nutzen aus den einmalig vermiedenen Polderkosten pro Kubikmeter errechnen. Beispielhaft soll hier auf die Recherche bei der LWF (2004) verwiesen werden, welche den im Weiteren verfolgten Ansatz in seiner monetären Größenordnung stützt. Dies trifft ebenso auf die Unterhaltungskosten zu, die vom Umfang des Bauwerkes und zugehörigen Bauten (z. B. Pumpenanlagen, Diesel- oder Stromantrieb etc.) bestimmt werden. Für die Baukosten kann man durchschnittlich etwa 5 €/m³ annehmen (LWF, 2004). Bezieht man sich auf die obige Annahme des Wasserrückhaltes (100 % konservierende Bodenbearbeitung auf 450 000 ha, 3 mm höherer Wasserrückhalt), so stellt der Wert des Bodens als Speicher ca. 67.5 Mio. € an verhinderten Polderbaukosten dar.

Kritisch muss angemerkt werden, dass es trotz des signifikant verbesserten Wasserretentionsvermögens der pfluglosen Verfahren weiterhin erforderlich ist, technische Hochwasserschutzanlagen wie Polder oder Talsperren i.d.R. zu bauen. Gesteuerte Polderanlagen beispielsweise weisen deutlich bessere Regulierungsmöglichkeiten im Hochwasserfall auf als natürliche bzw. bewirtschaftungsbedingte Wasserspeicher in der Fläche. Während ein Polder, welcher regelmäßig gewartet wird, z. B. immer bei gleichem Niveau funktioniert, sind die Hochwasserschutzeffekte auf der Ackerfläche sehr variabel. Insbesondere bei lang anhaltenden und extremen Niederschlagsereignissen, bei denen die Böden bereits wassergesättigt sind, tritt auch bei konservierend bearbeiteten Flächen ein Hochwasser verschärfender Oberflächenabfluss auf. Obwohl die Abflussfülle durch die technischen Anlagen nicht beeinflusst werden kann, ist es aber möglich, den im Gewässer befindlichen Abfluss zu verzögern und damit die Abflussscheitel gesteuert zu reduzieren (z. B. gezielte Kappung von Hochwasserspitzen). Die hier betrachtete Einsparung von Polderbaukosten durch einen verbesserten Wasserrückhalt in der Fläche würde also in der Realität vermutlich nicht eintreten und der Nutzen sich faktisch auf diese Weise nicht ermitteln lassen. Der Ansatz dient daher eher als gedankliches Konstrukt, um eine ungefähre Vorstellung des volkswirtschaftlichen Potenzials zu bekommen.

Ein weiterer, möglicher Ansatz ist der Produktions-Funktionsansatz. Dieser behandelt die Funktion (hier die Hochwasserschutzfunktion) eines Produktes (hier: die Umstellung der Ackerfläche auf konservierende Bodenbearbeitung). Somit werden vermiedene Hochwasserschäden direkt auf der Grundlage von flächenbezogenen Schadenserwartungswerten und durch die Existenz von durch Mulchsaat verminderten Auftretenswahrscheinlichkeiten von Ereignissen bestimmter Abflusshöhe abgeschätzt. Dieser Ansatz kann hier nicht weiter verfolgt werden, da die Unsicherheiten bei der Ermittlung von Schadenserwartungswerten zu groß erscheinen bzw. nicht flächendeckend für Sachsen vorliegen und zusätzlich abhängig von Gebiet und Region und Besiedlungsart (z. B. Großstadt oder Dorf) sind. Hier bietet sich ein Forschungsfeld zur genaueren Bewertung der Hochwasserschutzfunktion in der Zukunft.

8.2.1.1.4.2 Erosion

Eine volkswirtschaftliche Nutzengröße stellt die bereits vorgestellte verhinderte Erosion dar (vgl. TEBRÜGGE, 2003; BRUNOTTE und WAGNER, 2001; GRÜNING, 2000; KANTON ZÜRICH, 2005). Sie tritt allerdings auch im Nicht-Hochwasserfall auf und stellt eine signifikante Wertminderung des Bodens dar (KÖLLER und LINKE, 2001: 12; GRÜNING 2000). Weiterhin werden über die Erosion Stoffe wie Nitrate und Pflanzenschutzmittel ausgeschwemmt (TEBRÜGGE, 2003: 53) und gelangen in die Gewässer, wo sie zu Beeinträchtigungen der Ökosysteme führen. Erosion verursacht auf landwirtschaftlichen Flächen Onsite- (z. B. Ertragsausfälle) und Offsite-Schäden (vgl. BRAND-SASSEN, 2004: 13-15; KANTON ZÜRICH, 2005) durch verschmutzte Straßen und Wege, Sediment in Gräben und Kanalisationen etc. Weiterhin stellt der Boden einer Volkswirtschaft ein Potenzial für die Versorgung mit Nahrungsmitteln oder Heilpflanzen in der Zukunft dar und entspricht somit einem volkswirtschaftlichen Optionwert. Boden weist außerdem Bedeutung als kulturhistorischer Speicher auf.

Die Erosion ist von vielen Determinanten abhängig, z. B. vom Boden, dem Gefälle, dem Niederschlagsverhalten, der Bodenbedeckung etc. und für große Gebiete wegen des kostenintensiven Aufwandes nur schwer messbar (BRAND-SASSEN, 2004: 15,143). Weil das Erosionsverhalten stark standortabhängig ist und die Möglichkeit einer einzugsgebietsweiten Messung meist nicht ohne weiteres möglich ist, muss man sich mit verallgemeinernden Tendenz-Aussagen begnügen. Nicht immer sind die Daten für den Erosionsabtrag in jedem Bundesland vorhanden. Abschätzungen gibt es u. a. für Bayern und Niedersachsen. Für Sachsen liegt keine verlässliche, durchschnittliche Erosionsrate vor (vgl. BRÄUNIG 2005: 1).

Laut dem Freistaat Sachsen/SMUL sind 600 000 ha Ackerfläche potenziell erosionsgefährdet, davon sind 450 000 ha wassererosionsgefährdete Ackerfläche (entspricht ca. 60 % der gesamten Ackerfläche in Sachsen) sowie 150 000 ha der Ackerfläche winderosionsgefährdet (vgl. FREISTAAT SACHSEN 2003a; FREISTAAT SACHSEN 2003b; SMUL 2005c; SACHSEN.DE 2005b). Ca. 40 % der Ackerfläche sind sogar mittel- bis hochgefährdet (vgl. BRÄUNIG 2005: 1). Erosionsgefährdete Standorte sind für die Umstellung auf die Mulchsaat besonders geeignet, weil sich nicht nur eine Kosteneinsparung realisieren, sondern auch die Erosion mindern lässt. Nach WERNER et al. ist für

die neuen Bundesländer eine durchschnittliche Bodenabtragsrate durch Wassererosion von 4,6 t/ha/a auf Ackerflächen anzunehmen. Dabei schwanken die Werte je nach Standort von 1 – 14t/ha (vgl. WERNER et al. 1994: 85). Andere Schätzungen gehen von ca. 5 t/ha/a (für Niedersachsen und Sachsen) aus oder mehr, so dass die Annahme in ihrer Größe nicht unrealistisch ist (vgl. BRAND-SASSEN 2004: 22; EZG MITTELDEUTSCHER KÖRNERMAISANBAUER 2002a: 6; PROJEKT HYPERSOIL 2004; KANTON ZÜRICH 2005). Geht man von einer Verminderung der gesamten Erosion von 95 % aus, so ließen sich im ersten Fall maximal 4,37 t/ha/a (Rechenweg: $0,95 \times 4,6$ t/ha/a) durchschnittlich an Bodenabtrag verhindern. Bezieht man diese Zahl auf die wassererosionsgefährdete Ackerfläche Sachsens (450 000 ha) so ergäbe sich ein verhinderter Bodenabtrag von ca. 1 966 000 t/a bei Wassererosion. Bezieht man sich nur auf das Einzugsgebiet der Mulde, so beträgt die Ackerfläche ca. 272 080 ha. Somit ließen sich ca. 1 189 000 t (Rechenweg: $4,37$ t/ha/a \times 272 080 ha = 1 188 989,6 t/a) Abtrag im Einzugsgebiet der Mulde verhindern. Der Erosionsschutz ist bei der Direktsaat im Vergleich zur konservierenden und besonders zur konventionellen Bodenbearbeitung signifikant höher (bis max. 98 %). Analog zu den Rechnungen bei der konservierenden Bodenbearbeitung ließen sich somit etwa 4,508 t/ha/a (Rechenweg: $4,6$ t/ha \times 0,98 = 4,508 t/ha) an Bodenabtrag verhindern. Dies entspräche bei der wassererosionsgefährdeten (450 000 ha), landwirtschaftlichen Fläche in Sachsen etwa 2 028 000 t/a weniger Abtrag. Für das Einzugsgebiet der Mulde (272 080 ha) ließen sich demnach 1 226 000 t (Rechenweg: 272 080 ha \times 4,508 t/ha/a = 1 226 537 t/a) an Bodenabtrag verhindern.

Die Bewertung einer Tonne Boden ist außerordentlich schwierig (vgl. BRAND-SASSEN 2004: 123-125). Entscheidet man sich exemplarisch für die Berechnungen von Brand-Sassen (vgl. BRAND-SASSEN 2004: 146-148), unter der vereinfachenden Prämisse einer linearen Beziehung zwischen Bodenwert und – dicke (vgl. BRAND-SASSEN 2005: 1), so beträgt der Wert einer Tonne Oberboden, welcher bei der Erosion verloren gehen kann, durchschnittlich ca. 4,8 €. Dieser Wert ergibt sich u. a. aus der monetären Bewertung der im Boden gelösten Hauptnährstoffe wie Stickstoff (N), Phosphat (P_2O_5) und Kali (K_2O), der verwendeten Pflanzenschutzmittel sowie der variablen Kosten zur Dünge- und Pflanzenschutzmittelausbringung sowie Aussaat. In diesem Zusammenhang ist kritisch anzumerken, dass der Wert des Bodens den Wert der Inhaltsstoffe etc. übersteigen dürfte. Allein aus Gründen der praktischen Irreversibilität des intensiven Abtrags steht zur Diskussion, ob mit jeder Tonne Bodenverlust der Wert der Restmenge steigen könnte. Allerdings wäre auch die umgekehrte Schlussfolgerung möglich, wenn man durch die Wertminderung sinkende (diskontierte) Ertragsströme annehmen würde. Weiterhin weist der Boden auch non-use-values der Landwirtschaft auf, so z. B. als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte oder als Filter für das Grundwasser. Andere Autoren schätzen z. B. 7 €/t oder ca. 22 €/ha. (vgl. EZG MITTELDEUTSCHER KÖRNERMAISANBAUER W.V., 2002; SCHACH, 1987). Der verwendete Wert stellt daher einen Mindestwert dar. Der maximale Gesamtnutzen bei 100 % konservierender Bodenbearbeitung der oben angenommenen Erosionsminderung aller konservierend bearbeiteten Wassererosions-Flächen (450 000 ha) in Sachsen läge pro Jahr bei ca. 9 439 000 €/a bzw. bei ca. 5 707 000 €/a für das Muldegebiet (ca. 272 080 ha). Bei der Direktsaat im Muldegebiet ließen sich bis zu 5 887 000 €/a durch die Erosi-

onsminderung einsparen bzw. auf der Wassererosionsfläche Sachsens bis zu ca. 9 735 000 €/a. Selbst wenn der Maximalwert nicht erreicht wird und die Minderung geringer ausfällt, wird doch das große Potenzial ersichtlich, das sich durch verhinderte Schadenskosten durch geminderte Erosion ergibt.

8.2.1.1.4.3 Offsitekosten

Möchte man Offsite-Kosten der konventionellen Landwirtschaft, z. B. die Kosten der technischen Sedimentbeseitigung, bei abgeschwemmtem Boden auf Straßen oder in Flüssen in seine Betrachtung mit einbeziehen, so fällt auf, dass es an flächendeckenden Untersuchungen mangelt. Zieht man exemplarisch die wenigen Untersuchungen und Schätzungen solcher externer Effekte, welche in z. B. Bayern durchgeführt wurden, heran (vgl. DOLESCHEL und HEIßENHUBER 1991; EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR, 2003) und trifft vereinfachend die Annahme, dass die Ergebnisse auf Sachsen übertragbar sind, so ergeben sich verminderte Reinigungskosten zwischen 6,65 €/ha (konservierend) bzw. 6,86 €/ha (Direktsaat) bzw. nach ECAF 32 €/ha (Schätzung für beide Verfahren). An Nutzen ließen sich somit etwa zwischen 2 992 500 (kons.) bzw. 3 087 000 (Direkt.) und 14 400 000 €/a (ECAF) auf der Wassererosionsfläche generieren (Rechenweg: 450 000 ha x 6,65 oder 30,4 € = 2 992 500 bzw. 13 680 000 €; vgl. EUROPEAN CONSERVATION AGRICULTURE FEDERATION, 2005c). Weiterhin muss auf die gewichtige Bedeutung der Erosionsminderung für den Hochwasserschutz hingewiesen werden. Der Boden fungiert als aktiver Speicher. Wird der Boden abgeschwemmt, geht permanent aktiver Speicher verloren, der nicht mehr zur Füllung zur Verfügung steht. Erosionsminderung ist somit nicht etwa ein nützlicher Nebeneffekt, sondern ein langfristiger Erhalt an Speicherraum und somit direkt hochwasserwirksam. Dies trifft natürlich ebenso für den Schutz durch Grünland, Wald etc. zu.

8.2.1.1.4.4 Weitere volkswirtschaftliche Aspekte

Volkswirtschaftliche Mechanisierungskosten können ebenfalls signifikant eingespart werden, weil bei Umstellung auf die konservierende Bodenbearbeitung die Investitionen niedriger liegen (vgl. BECKER 1997: 56). Weil bei verschiedenen Betriebsgrößen verschiedene Kombinationen von Maschinen möglich sind, lässt sich aber im Rahmen des Projektes keine exakte Rechnung der Mechanisierungskosten entwickeln.

Die Änderung der Bodenbearbeitungsintensität wirkt sich in Form von verminderten Schadenskosten aus. Dies betrifft insbesondere in die Umwelt gelangende Agrochemikalien und Schadstoffe wie Schwermetalle (z. B. als Verunreinigung im Dünger). Weiterhin können bakterielle Verunreinigungen (wie antibiotikaresistente Erreger) durch Tierausscheidungen in die Umwelt gelangen (vgl. EAWAG, 2005: 3f.). Jährlich gelangen in Deutschland 28 t Herbizide, 8 200 000 t Nitrat und 37 000 t Phosphor in die Gewässer. Dabei sind 72 % beim Stickstoff und 66 % beim Phosphat diffuse (vgl. ERLACHET al., 2004; BAYRISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN, 2002) Austräge, die großteils der Landwirtschaft zuzuordnen sind. Der Erosion kommt die bedeutendste Rolle beim Phosphat-Eintrag zu. Diese emittier-

ten Austräge in Gewässer in Form von Phosphaten und Nitrat sind verantwortlich für die Eutrophierung von Gewässern bis hin zur Schädigung von ganzen Ökosystemen. Nitrate können die menschliche Gesundheit als auch aquatische Ökosysteme schädigen (z. B. Fischsterben) (vgl. BMU, 2004). Die konservierende Bodenbearbeitung weist den Vorteil auf, dass Abfluss und Wassererosion signifikant vermindert werden. Zu nennen sind hier als wichtige umweltrelevante Aspekte die Reduzierung des Oberflächenabflusses und damit des Herbizid-, Nitrat- und Phosphataustrages. ABS und ECAF nennen eine durchschnittliche Verminderung von ca. 70 % des Herbizid-, ca. 85 % des Nitrat- sowie ca. 65 % des Phosphataustrages (ABS, 2005; EUROPEAN CONSERVATION AGRICULTURE FEDERATION, 2005c). Die Minderung der Austräge belastet zum einen die Ökosysteme weniger, zum anderen senkt es die Reinigungskosten des Wassers an Wasserwerken, Brauereien etc. (vgl. CONSERVATION AGRICULTURE FEDERATION, 2005c).

Einen weiteren Punkt stellen die Auswirkungen auf Arten und Biotope sowie die Biodiversität der Agrarlandschaft dar. Hier wird auf die naturschutzfachlichen Bewertungen in diesem Bericht verwiesen (Kapitel 4.2.3.2).

Interessant sind die Ergebnisse von Wegener, der die Primärenergieaufwendungen bei der konventionellen und der konservierenden Bodenbearbeitung vergleicht (WEGENER, 2001: 68). Zusammenfassend sind signifikant weniger Energieaufwendungen bei sinkender Bodenbearbeitungsintensität notwendig. Dies resultiert im Wesentlichen aus dem verringerten Einsatz von Antriebsenergie, wobei die Direktsaat die Mulchsaat hier übertrifft (vgl. WEGENER, 2001; FAT, 1999; SÜDZUCKER AG, 2002). Dieser Aspekt ist im Kontext der Verknappung fossiler Energieträger, die für die Treibstoffherstellung genutzt werden, von Bedeutung.

Die Funktion der Böden als Senke, also als Quelle und Speicher für Kohlenstoff und anderer klimarelevanter Gase wie z. B. N_2O (Lachgas) oder CH_4 (Methan) nimmt angesichts der zunehmenden Klimaschutzdiskussion an Bedeutung zu. Die Landwirtschaft ist Verursacher von ca. 9 % der Treibhausgase in der EU (vgl. DIE EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2006). Bei der konventionellen Landwirtschaft ist eine der Hauptursachen der CO_2 -Emission das Pflügen. Durch die mit dem Pflügen verbundene intensive Lockerung der Böden wird weniger organische Substanz angereichert, wodurch CO_2 gebunden wird. Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass die Kohlenstoffbindung des Bodens ohne Pflugeinsatz signifikant erhöht wird (z. B. HEINEMEYER, 2004; LAL, 1997; WEST und MARLAND, 2002). Die Emissionen klimarelevanter Spurengase werden hierdurch reduziert. Dies gilt besonders für Kohlendioxid, aber auch für Methan und Lachgas (SEYFARTH et al., 1999). Unterstellt man eine jährliche Humusbildung von ca. 1 t/ha durch konservierende Verfahren und damit ca. 0,58 t organischer Kohlenstoff (C_{org}) (vgl. TEBRÜGGE, 2003: 54), so könnten allein auf den 450 000 ha wassererosionsgefährdeten Flächen in Sachsen ca. 261 000 t Kohlenstoff im Boden gespeichert werden. Weil durch die mikrobielle Oxidation von 1 t Kohlenstoff ca. 3,7 t CO_2 gebildet werden, könnte man allein in Sachsen den Ausstoß an CO_2 auf der erosionsgefährdeten Ackerfläche um jährlich ca. 965 700 t mindern. HEINEMEYER (2004) kommt zu dem Schluss, dass bei vollständiger

Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung in Deutschland nach 10 Jahren max. 98,9 Mt Kohlenstoff im Ackerland gebunden werden könnten. Hierbei handelt es sich allerdings um einen einmaligen und reversiblen Effekt. Wird das Ackerland wieder konventionell gepflügt, wird der gespeicherte C-Vorrat wieder freigesetzt. Dies stellt ökonomisch einen Optionswert dar, möglicherweise auch im Kontext eines sich ständig entwickelnden Zertifikathandels. Zwar sind Reduktionsleistungen durch die Landwirtschaft in Deutschland wahrscheinlich absehbar nicht anrechenbar, u. a. wegen der Unsicherheiten bei der Abschätzung der Menge an Treibhausgasen, die infolge landwirtschaftlicher Tätigkeiten und Landnutzungsänderung in der Atmosphäre absorbiert wird. Bislang ist hierfür noch keine IPCC-Methodik (Intergovernmental Panel on Climate Change) entwickelt worden (vgl. DIE EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2006). Andererseits zahlen in Kanada Energieversorger in einigen Gebieten den Landwirten 20 €/ha, wenn diese Direktsaat betreiben, um sich nicht emittiertes CO₂ einzukaufen und damit ihrer Reduktionsverpflichtung nachzukommen (vgl. TEBRÜGGE, 2000: 5). Eine Entwicklung in diesem Kontext bleibt daher abzuwarten.

8.2.1.2 Umfrage bei sächsischen Referenzbetrieben

Zum Thema der konservierenden Verfahren fand eine Umfrage bei den sächsischen Referenzbetrieben der LfL statt, welche man als kleine Expertenbefragung (n = 14) ansehen kann, weil die Betriebe im Schnitt seit mehr als 10 Jahren die konservierende Bodenbearbeitung betreiben. Somit fließen auch Erfahrungen aus der Praxis in den vorliegenden Endbericht mit ein. Die wesentlichen zu nennenden Ergebnisse sind, dass 8 von 14 Betrieben Kostensenkungen zu verzeichnen hatten, nur 3 Betriebe gaben keine Kostensenkung an, so dass sich die theoretische Aussage hier meist bestätigt. Durch die begrenzte Stichprobe sind Aussagen über die Maschinenumstellungskosten kaum möglich, es zeigte sich aber, dass oftmals die Maschinenumstellungskosten mit 0 angegeben werden. Im Rechenbeispiel zur Umstellung auf konservierende Verfahren im Anhang dieses Berichtes wird als worst-case-Variante daher die Annahme eines Maschinenneukaufes je einer Spezialmaschine als Beispiel angenommen. Dies kann nur ein Beispiel von vielen sein. Umstellungskosten müssen immer betriebsindividuell betrachtet werden. Die Lernkosten ließen sich ebenfalls nicht verlässlich ermitteln, es ist aber davon auszugehen, dass ein permanenter Lernprozess vorherrscht. Dies dürfte aber auch auf die konventionelle Bewirtschaftung zutreffen. In den Modellrechnungen wird der Durchschnittswert der Umfrage als Beispiel angeführt, auch wenn die Umfrage nicht repräsentativ ist. Es bestätigte sich, dass in der Umstellungsphase teilweise Ertragsrückgänge auftreten können, aber nicht müssen. Alle Landwirte waren mit ihrer Entscheidung zufrieden. Der Fragebogen und die Ergebnis-Tabelle (Tabelle 4) der Umfragergebnisse befinden sich im Anhang Ökonomie.

8.2.1.3 Dauergrünland und Flächenstilllegung

In Deutschland sind Grünlandflächen stark rückläufig, verbleibendes Grünland wird zunehmend intensiv genutzt (vgl. SRU, 2004b: 189). Auf fakultativem Grünland können auch andere Marktfrüchte angebaut werden, wie z. B. Getreide. Obligates Grünland findet sich oft an Grenzertragsstandorten, d. h. andere Marktfrüchte können dort nur schwer angebaut werden. Im Folgenden wird

prioritär Extensivgrünland behandelt. Intensiv bewirtschaftetes Grünland wird vernachlässigt, da es sehr hohe Abflussraten aufweisen kann und die Hochwasserschutzwirkung kaum verbessert und darüber hinaus negative externe Effekte (z. B. stärkere Methanemission durch Viehbesatz) aufweist (vgl. LAWA, 2000: 2). Weiterhin ist einschränkend zu bemerken, dass Grünland auf Extremstandorten wegen der dort spezialisierten Flora und Fauna naturschutzfachlich besonders bedeutend ist (vgl. VON HAAREN et al., 2003). Grünland weist eine Vielzahl Unterformen auf, hier kann nur eine grobe Durchschnittsbetrachtung geleistet werden (vgl. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 2003).

Im Einzelfall muss nachgeprüft werden, ob die angestrebte Grünlandform möglich ist. Determinanten sind z. B. die ausreichende Existenz von Wirtschaftsgebäuden, Arbeitskräfte- und Maschinenverfügbarkeit, oder die Möglichkeit des Bezugs zusätzlicher Milchliefer- oder Mutterkuhprämienrechte etc. Auch Verpachtungsmöglichkeiten sind zu prüfen. Als letzte Möglichkeit steht die Flächenstilllegung zur Verfügung (vgl. NITSCHKE und NITSCHKE, 1994; BRAND-SASSEN, 2004).

Konstatiert werden muss, dass Ackerland nicht ohne Probleme in extensives Grünland umgewandelt werden kann. Eine vorherige Ausmagerung des Standortes durch Biomasseentzug über zwei- bis dreimalige Mahd pro Jahr ist ggf. notwendig (vgl. BRIEMLE, 1990). Die Flächenstilllegung oder Brache bezeichnet die Aufgabe der vorigen landwirtschaftlichen Nutzung auf einer Fläche. Dabei besteht für die Landwirte eine Stilllegungsverpflichtung (vgl. LfL, 2001a). Bisher wurde das Instrument der Flächenstilllegung dazu benutzt, die landwirtschaftliche Überproduktion in der EU einzudämmen (vgl. HACHTEL et al., 2003; DEUTSCHE WILDTIER STIFTUNG, 2005). In Sachsen beträgt der Flächenstilllegungssatz im Jahr 2005 8,47 % (BMELV 2006). Jedem Betriebsinhaber werden bei Stilllegung besondere Zahlungsansprüche zugeteilt (vgl. DVL et al., 2003; BRAND-SASSEN, 2004). Die obligatorische Stilllegung erhält grundsätzlich die Ackerflächenprämie, die freiwillige Stilllegung entweder die Grünland- oder Ackerflächenprämie. Hat der Betrieb nur noch Ackerflächenzahlungsansprüche (z. B. durch Zukauf), so kann er auch für stillgelegtes Grünland die Ackerlandprämie erhalten. Stilllegungsflächen können langfristig (20 Jahre, ca. 3 000 ha in Deutschland und damit auf der Fläche relativ unbedeutend) (vgl. LANDESJAGDVERBAND HESSEN e.V., 2003b) z. B. auf intensiv genutzten Ackerflächen oder kurzfristig (drei Jahre, ca. 1,1 Millionen ha in Deutschland) (vgl. DVL et al., 2003) vor allem auf armen Ackerstandorten, Kuppen sowie südexponierten Hängen angelegt werden.

8.2.1.3.1 Einzelbetriebliche Kosten und Nutzen für Grünland/Brache

Bei Umstellung auf Grünland bzw. Brache fallen ggf. Erstellungskosten (Einsaat) an (wenn keine Selbstbegrünung möglich). Im einfachsten Fall bedeutet dies für einen 1 ha Schlag 170 € Kosten durch die Nutzung einer Sämaschine und eines Kreisel- oder Scheibenmäherwerkes für einen ersten Schnitt. Dies entspricht 0,017 €/m². Weiterhin sind die Kosten des Saatgutes zu ermitteln, welche stark variieren (siehe z. B. KTBL-Daten). Kosten entstehen weiterhin durch die Grünlandpflege für die Erhaltung und Förderung der intakten, standort- und nutzungsgerechten geschlossenen und

leistungsfähigen Grasnarbe. Extensivierung bedeutet dabei nicht, diese Pflege zu vernachlässigen (vgl. BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN SOWIE UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2005; HACHTEL et al., 2003; BRAND-SASSEN, 2004).

Einzelbetrieblich bedeutet eine Umwandlung von Ackerland hin zu Grünland oder Flächenstilllegung zum einen den Verzicht auf die Deckungsbeiträge entsprechend der sonst benutzten Fruchtfolge auf der Ackerfläche. Eine Extensivierung bedeutet zudem i.d.R. eine Verringerung der Erträge (NITSCHKE und NITSCHKE, 1994: 167) gegenüber intensiv genutztem Grünland (vgl. SMUL, 2005a). Es gibt drei Möglichkeiten der Generierung von alternativen Erträgen auf Grünland. Zum einen eine Nutzung der Fläche als Weide, zweitens die Nutzung als Wiese und drittens die so genannte Mähweide. Die Weide zeichnet sich durch die Beweidung durch Vieh aus wie z. B. Milchkühen oder Rindern bei der Rinderzucht. Die extensive Wiese wird lediglich zur Mahd genutzt (meist ein- bis zweimal pro Jahr). Die Mähweide kombiniert beide Formen indem sie zusätzlich zur Beweidung eine Mahd erlaubt. Der Verzicht auf Biozidanwendung sollte in allen Fällen gewährleistet sein. Für die Stilllegung dagegen gilt: Verboten ist die Begrünung mit landwirtschaftlichen Kulturpflanzen wie Ölsaaten, Getreide, und Eiweißpflanzen, in Reinsaat. Das Entfernen sowie jegliche landwirtschaftliche Nutzung ist zu unterlassen, ebenso wie der Bewuchs zur Saatguterzeugung nicht dienen darf. Außerdem existiert eine Reihe von Auflagen wie das Verbot der Pflanzenschutzmittelausbringung, sowie das Verbot des Ausbringens von Dünger, Klärschlamm etc. (vgl. LfL, 2001). Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass kein Dauerschaden eintritt und die Brache zeitlich begrenzt ist. Ggf. sind als Folgekosten in mehrjährigen Abständen die Pflege verbuschter Bereiche oder Mahd oder Mulchen zur Verhinderung einer Verbuschung oder Verunkrautung einzukalkulieren (vgl. LfL, 2001). Alle naturschutzfachlich gepflegten Grünländer sowie die Brache bieten einen hohen Erosionsschutz und eine signifikante Abflussminderung (z. B. durch hohe Oberflächenrauigkeit). Dies vermindert zum einen den Wertverlust durch Sedimentaustrag auf der Fläche, und dient zum anderen als Pufferzone, wenn angrenzende Ackerflächen Abflüsse und Austräge aufweisen, die sonst andere Flächen schädigen könnten.

Vertiefung: Nutzen und Kosten von Grünland und Stilllegung

Die Weide ist die dominante Nutzungsart des Grünlandes in Sachsen (vgl. SMUL, 2005a: 158; LfL, 2005f). Sie ist eine wichtige Nutzungsform zur naturnahen und kostengünstigen Haltung und Fütterung von Rindern u. a. Nutztieren (vgl. LfL, 2005f). Sie wird meist für die Bullen- oder Färsenaufzucht oder für die Mutterkuhhaltung genutzt. Die Weide wirkt sich dabei positiv auf Gesundheit und Fruchtbarkeit der Weidetiere aus (vgl. LfL 2005f). Dabei sollte die Besatzstärke max. drei Stück Großvieh pro ha betragen. Setzt man z. B. einen Standarddeckungsbeitrag bei der Fruchtfolge WR-WW-WG von 564 € (LWK Hannover) als Opportunitätskosten an, so ergibt die Färsenaufzucht einen DB von -750 €/ha und die Bullenmast einen DB von -860 €/ha. Weitere Möglichkeiten sind die Mutterkuhhaltung (DB = 50 €/ha), die Flächenstilllegung sowie die Verpachtung, alle zwar mit positiven, aber keineswegs vergleichbaren Deckungsbeiträgen. Einzig die Mutterkuhhaltung kommt per Direktzahlung in die Nähe des Deckungsbeitrages der Standardfruchtfolge, wobei aber oben

aufgeführte Einschränkungen (Prämienrechte etc.) beachtet werden müssen. Sämtliche Verfahren sind aber im Vergleich mit einer ackerbaulichen Nutzung und durchschnittlich angenommenen Erträgen einzelbetrieblich weniger lohnend. Daran ändern auch Ausgleichszahlungen (574 €/ha für Grünland in Überschwemmungsgebieten im Rahmen der GAK (SMUL, 2005d: 35f.) nichts (vgl. Brand-Sassen, 2004). Im Anhang Ökonomie findet sich hierzu Grafik 1. Vergleiche hierzu auch Roth und Berger (1999) für detaillierte Rechnungen. Die Mahd der extensiven Wiese erfolgt einmal, max. dreimal pro Jahr zwischen Juni und Oktober. Das Mähgut erbringt je nach Standort verschiedene hohe Qualität und Erträge und kann innerbetrieblich verwendet oder verkauft werden (vgl. LfL, 2005f). Kosten entstehen für die Verfahrenskosten der Mahd und den Abtransport des Mähgutes. Weiterhin entstehen Verfahrenskosten der Ausbringung von Stallmist und Jauche zur Rückführung von Nährstoffen. Die Mähstandweide (SMUL, 2005a) kann in intensiver, reduzierter (Besatzstärke zwischen 2 bis 4 GV/ha) oder extensiver Form (Besatzstärke < 2 GV/ha) durchgeführt werden. Dabei erfolgt die Anpassung der Besatzstärke an den Wachstumsverlauf durch Abgrenzung der zu beweidenden Fläche. Der ausgegrenzte Bereich wird zur Generierung von Winterfutter gemäht.

Mit zunehmender Zuwachsleistung wird die Weide nach jedem Schritt ausgeweitet, letztendlich wird die ganze Weidefläche beweidet. Der Landwirt muss für diese Verfahren die Fähigkeit zur standortabhängigen Prognose des Wachstumsverlaufes besitzen. Weiterhin sind zusammenhängende Flächen notwendig, für Milchkühe ist Stallnähe notwendig, für alle anderen Tierarten nicht. Möglich ist dabei auch die Nutzung als Ganztagsweide, wobei eine Heu- bzw. Strohzufütterung notwendig ist. Eine Freigabe zur Beweidung wird immer direkt nach der Aberntung des Mähgutes möglich (vgl. LfL, 2005f; NITSCHKE und NITSCHKE, 1994). Ein Bewirtschaftungsschema für eine Mähstandweide ist im Anhang Ökonomie in Grafik 2 ersichtlich: Als Vorteile gelten die hohe Wirtschaftlichkeit (vgl. LfL, 2005f; SMUL, 2005a) durch geringen Arbeitskräftebedarf und großräumige Bearbeitungsmöglichkeit sowie geringere Kosten für Zäune, Tränken und Triftwege. Das ruhige Tierverhalten in der Herde ermöglicht eine hohe, individuelle Tierleistung. Als nachteilig gilt die Notwendigkeit einer arrondierten Lage der Weideflächen, als auch das Risiko der Futterknappheit bei austrocknungsgefährdeten Bereichen sowie gesteigerte Ansprüche an die Tier- und Weidehygiene (vgl. LfL, 2005f).

8.2.1.3.2 Ausblick: Bedeutende rechtliche Rahmenbedingungen

Zu beachten ist, dass für den Landwirt bei Anlage von Grünland in einem Überschwemmungsgebiet ein Dauerschaden eintritt, weil die Rückwandlung zu Acker nach dem Sächsischen Wassergesetz verboten ist (§ 100 (2) 8 SächsWG). Hinzu kommen Restriktionen aus der Sicht des Naturschutzes. Die Zustimmung vieler Landwirte wird daher oftmals verweigert, wenn eine Rückumwandlung ausgeschlossen wird und eine entsprechende Förderung nicht gegeben ist (vgl. VON HAAREN et al., 2003). Außerdem determiniert Cross Compliance die Situation. Flächen erhalten, auf den Stichtag 15.05.2003 bezogen, den Status Dauergrünland, wenn der Landwirt diese Fläche in seinen Antragsunterlagen für das Jahr 2003 genannt hat. Sind Flächen unter der Position Ackerfutter als Hauptfutterfläche angeführt worden, erhalten sie die Bezeichnung historisches Ackerland.

Eine Fläche, die 2003 nicht gemeldet wurde und im Antrag 2005 aufgeführt wird, wird automatisch dem Dauergrünland zugeteilt (Ausnahme: Der Landwirt kann nachweisen, dass die Fläche nicht ununterbrochen dem Grünfütterbau gedient hat). Die Regelungen für den Erhalt von Dauergrünland gelten seit dem 01.01.2005 (vgl. BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN SOWIE UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2005). Nach Verordnung (EG) Nr. 1782/2005 sind die Mitgliedsstaaten verpflichtet, Dauergrünland zu erhalten. Dies geschieht in einem mehrstufigen Verfahren. Dazu hat jede Region jährlich die Dauergrünlandflächen als Anteil der gesamten Ackerfläche bei den Anträgen auf Direktzahlungen der EU-Kommission zu nennen. Diese jährlich neu zu erstellenden Angaben werden mit einem Basiswert verglichen, welcher sich aus dem Anteil der Dauergrünlandflächen des Jahres 2003 (zuzüglich der Flächen, die 2003 nicht genannt, aber im Antrag 2005 angegeben wurden und Dauergrünland sind) an der im Jahr 2005 von den Antragstellern angegebenen Fläche errechnet. Drei Fälle ergeben sich für den Vergleich des Basiswertes mit dem aktuellen Grünlandanteil. Hat sich der aktuelle Dauergrünlandanteil im Vergleich zum Basiswert um weniger als 5 % verringert, so ergibt sich keine neue Verpflichtung für den Landwirt. Sollte sich eine Verringerung um mehr als 5 % ergeben, so ist das jeweilige Land verpflichtet, eine Verordnung zu erlassen, nach der ein Umbruch nur nach vorheriger Genehmigung zugelassen wird. Sollte sich der Wert um mehr als 8 % verringert haben, so kann, sollte er sich um mehr als 10% vermindert haben, so muss die Region Direktzahlungsempfänger, die umgebrochenes Grünland bewirtschaften, verpflichten, Grünland neu einzusäen oder an anderer Stelle Dauergrünland neu zu schaffen. Werden die Werte im Jahr 2006 überschritten, so sind die Landwirte, welche in den vorigen 24 Monaten umgebrochen haben, gezwungen, dieses wieder einzusäen oder an anderer Stelle anzulegen (vgl. BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN SOWIE UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2005; SERVICE D'ÉCONOMIE RURALE, 2005). Somit ergibt sich für den Landwirt ggf. ein ökonomischer Dauerschaden.

8.2.1.3.3 Volkswirtschaftliche Nutzen und Kosten von Grünland- und Stilllegungsflächen:

8.2.1.3.3.1 Offsite-, Onsite- und Erosionskosten

Nutzengrößen sind deutlich verminderte Offsite/Onsiteschäden wegen der signifikant verminderten Erosion und Abschwemmung. Weiterhin dienen Grünland und Brache dem Grundwasserschutz durch Reduzierung der Nitrat-Sickerwasserkonzentration, was Verbrauchern (bessere Wasserqualität) und Wasserwerken (geringere Reinigungskosten) zu Gute kommt (vgl. HACHTEL et al., 2003). Die Wind- und Wassererosion wird wirksam vermindert, was insbesondere dem Hochwasserschutz zu gute kommt (vgl. LfL, 2001; HACHTEL et al., 2003). Weil die Stilllegungen, auch wenn sie großteils kurzfristig angelegt sind und nach einigen Jahren meist umgebrochen werden, eine relativ große Fläche aufweisen, ist unter umweltökonomischen Gesichtspunkten eine Umnutzung der Fläche (z. B. durch wildtiergerechte Ansaaten oder Aushagerungen) bedeutend (DVL et al. 2003: 3).

8.2.1.3.3.2 Hochwasserschutzaspekte

Ein signifikanter Nutzen der Grünlandnutzung kann durch den Beitrag zum Hochwasserschutz entstehen. Grünland mindert i.d.R. die Hochwasserentstehung durch höhere Infiltration, höhere Porenkontinuität, größere Oberflächenrauigkeit und Interzeption. Dies führt zu geringerem Oberflächenabfluss (BRAND-SASSEN, 2004: 112f.). Grünland wirkt als Wasserspeicher und kann z. B. im Fall einer Weide laut Literatur bis zu 20 l/m² aufnehmen (vgl. LANDESFORSTPRÄSIDIUM SACHSEN, 2003: 13; SCHUTZGEMEINSCHAFT DEUTSCHER WALD E.V., 2003a). Verwendet man diesen Wert als pauschale Annahme (ohne Bodenart etc. zu beachten) unter Verwendung des Alternativkostenansatzes, und subtrahiert in Anlehnung an Akkermann etwa ein Drittel unterirdische, schnelle Abflüsse, welche dem Hochwasserschutz ggf. nicht dienen, so bleibt eine Versickerungsleistung von ca. 12 l/m². Für den Nettonutzen der Versickerung auf extensivem Grünland muss die nachfolgende Nutzung beachtet werden. Weil als schlechtere Option nur eine Oberflächenversiegelung oder eine Nutzung als intensives Ackerland übrig bleiben, soll hier die worst-case-Annahme der Versickerungsleistung nahe 0 (totale Versiegelung) herangezogen werden. Ein Umbruch von Grünland für den Ackerbau ist oftmals Praxis und scheint als Annahme auch vertretbar, allerdings ließen sich keine empirisch belastbaren Pauschalannahmen über die Versickerungsleistung eines durchschnittlichen (Boden, Marktfrucht etc.) konventionellen Ackers ermitteln. Somit wäre bei nachfolgender Ackernutzung noch einmal ein bestimmter Betrag an Versickerungsleistung für die Ermittlung des Nettonutzens abzuziehen.

Die Fläche des Dauergrünlandes beträgt in Sachsen 181,54 Tsd. ha also 1 815 400 000 m² (SMUL, 2005d: 10). Ein Teil dieser Fläche wird intensiv genutzt und nicht extensiv bewirtschaftet (und weist daher auch höhere Abflussraten bzw. eine geringere Versickerungsleistung auf). Die obige Annahme der Versickerungsleistung soll trotzdem auf die gesamte Fläche angewendet werden, da es sich um eine sehr vorsichtige Schätzung handelt, die sehr niedrig angesetzt ist. Somit könnten im Vergleich zu einer vollständig versiegelten Fläche bei Niederschlägen etwa 21 784 800 m³ zurück gehalten werden (unter den üblichen Bedingungen der Vorfeuchte etc.) (Rechenweg: 12 l/m² * 1 815 400 000 m² = 21 784 800 m³; vgl. Rechenweg im Abschnitt über konservierende Verfahren). Dies entspricht 108 924 000 € vermiedene Polderkosten. Unter obigen Annahmen entspricht dies einem (einmaligen) Hochwassernutzenwert der derzeitigen Dauergrünlandfläche in Sachsen von 600 €/ha. Vielerorts gleicht eine Stilllegungsfläche von ihrer Wirkung einer Grünlandfläche (HACHTEL et al. 2003: 6). Es soll daher die Annahme getroffen werden, dass Stilllegungsflächen eine mindestens ebenso große Versickerungsleistung wie Grünland aufweisen, d. h. die angegebene Hochwasserschutzleistung pro ha ist übertragbar.

8.2.1.3.3.3 Weitere volkswirtschaftliche Aspekte

Eine landschaftsästhetische Bedeutung (vgl. SPATZ, 1994: 40f.; BERTKE et al., 2003: 47f.) resultiert aus der in der landschaftlichen Vielfalt, denn je nach Standort- und Nutzungsgegebenheiten variiert

Grünland als auch die Brache sehr stark (vgl. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 2003) und bietet z. B. in touristisch geprägten Regionen auch einen wichtigen Nutz- und Existenzwert, z. B. Sport und Erholung (SPATZ, 1994: 41f.; WBGU, 1999: 56f.). Weiterhin kann ein Abbau von Grünland eine regionstypische Kulturlandschaft negativ verändern (vgl. HOLST und BOSSERT, 2003), z. B. in Regionen, die für Wiesen und Weiden überregional bekannt und beliebt sind und kulturhistorisch gewachsen sind (Imageproblem). Als Beispiel sei auf die typischen Bergwiesen im Mittleren Erzgebirge verwiesen (GÜTHLER et al. 2002: 59, 62-64). Darüber hinaus können Landwirte durch gezielte Ansaat von mehrjährigen blüten- und nektarreichen Saatmischungen vorteilhafte Lebensräume für Wildtiere (z. B. Feldhase, Wachtel, Rebhuhn) fördern. Dies dient dem Schutz wildlebender Tiere und Pflanzen, die auf Dauer dadurch auch für Jagd erhalten bleiben. Weiterhin können z. B. wildtiergerechte Brachen Schäden an den Feldfrüchten verhindern, wenn sich die Tiere dort aufhalten und dort fressen (Zwischenäsungsfläche, welche als Puffer zur Ackerfläche dient) (vgl. INFORMATIONSDIENST WISSENSCHAFT, 2004; LANDESJAGDVERBAND HESSEN E.V., 2003a).

Ein wesentlicher Nutzen der Grünland- und Stilllegungsflächen liegt im biotischen Ressourcenschutz (SPATZ 1994: 41). Im Gegensatz zu konventionell bewirtschafteten Ackerschlägen herrscht i. d. R. eine wesentlich höhere Artenzahl und -vielfalt und ökologische Stabilität vor, wenn die Flächen nicht oder nicht intensiv bewirtschaftet werden. Mit steigender Intensität (z. B. häufiger Schnitt, höherer Viehbesatz) nimmt die Artenvielfalt und -zahl ab (vgl. SRU 2004b; HOLST und BOSSERT, 2003; BRAND-SASSEN, 2004). Die Möglichkeit, auf Flächen gefährdete Arten der Roten Liste zu erhalten, hebt dessen Bedeutung hervor (vgl. BATHKE et al., 2003). Weiterhin wird die Strukturvielfalt der Landschaft gesteigert (vgl. HACHTEL et al., 2003). Die Maßnahmen weisen positive Wirkungen auf den abiotischen Ressourcenschutz auf. Dieser umfasst das Lokalklima, die bioklimatische und lufthygienische Ausgleichsfunktion, den Wasserhaushalt u. v. m., und determiniert damit auch die Wasserqualität und die Luftreinheit (SPATZ 1994: 40). Weiterhin dient Grünland der Sauerstoffproduktion sowie als Kohlendioxid-Senke (vgl. JILG und ELSÄSSER, 2005). Weiterhin weisen Wiesen eine Filterwirkung für das Grundwasser auf. Für Weiden gilt dies allerdings nur eingeschränkt, weil je nach Besatzdichte und Bewirtschaftungsintensität das Weidevieh verschiedenen starke Kontaminierungen des Bodenwassers hervorrufen kann (punktuelle Exkrementstellen mit hoher N-Konzentration). Weiterhin kann die Bodenverdichtung durch Viehtritt die Abschwemmung von P verstärken (BRIEMLE 1998: 8-10). Des Weiteren wird, genau wie bei z. B. Mulchsaatverfahren, eine Humusanreicherung erfolgen und CO₂ am Boden gebunden werden. Eine Quantifizierung bzw. eine durchschnittliche Mengenangabe pro ha liegt allerdings nicht vor. Für die Sauerstofferzeugung gilt das Gleiche.

8.2.1.4 Aufforstung und Feldgehölze

8.2.1.4.1 Betriebswirtschaftliche Nutzen und Kosten der Aufforstung und der Feldgehölze

Der betriebswirtschaftliche Nutzen einer Aufforstung (zum Nutzen der Feldgehölze siehe unten) besteht z. Z. in Europa fast ausschließlich aus dem Nutzen, der sich für die Holzwirtschaft ergibt (vgl. AGDW, 2000). Weil die Zeiträume bis zur Ernte meist sehr groß sind (s.u.), kann davon ausgegangen werden, dass der Primärnutzen für einen aufforstungswilligen Landwirt sich aus der Förderung des Freistaates ergibt. Die Forstwirtschaft weist einige Besonderheiten auf. Zum einen ist die Langfristigkeit der Wachstumsprozesse und Reaktionszeiten zu beachten, so dass die Zeiträume bis zur Ernte des Holzes bis zu 300 Jahren betragen können (z. B. Eichenwertholz). Die Langfristigkeit der Produktion impliziert, dass Entscheidungen über Waldgestaltung und Waldschutz temporal weit reichende Konsequenzen aufweisen. Darüber hinaus determinieren die langfristigen Produktionsprozesse den Einsatz umweltökonomischer Instrumente stark (vgl. HAMPICKE, 1996; MOOG und OESTEN, 2001; HÖLTERMANN und OESTEN, 2001). Weiterhin stellt die Natur die Basis für Nutzung und Produktion dar. Der Wald dient als Standort, Ressourcenquelle und somit als Input und teilweise auch als Produktionsprozess (vgl. MOOG und OESTEN, 2001; HÖLTERMANN und OESTEN, 2001). Die diversen Leistungen von Wäldern (Forstwirtschaft, Erholungsraum, Klimagassenke etc.) können nur in einer verbundenen Produktion von Rohstoffen und Dienstleistungen erbracht werden.

Im Vergleich zur Landwirtschaft ist die Forstwirtschaft auf eine naturnahe Bewirtschaftung festgelegt und es kann nicht durch Düngung, Gentechnologie und Bodenbearbeitung Einfluss auf den Wachstumsverlauf von Bäumen genommen werden. Durch den ständigen gesellschaftlichen Wandel sind die soziale und ökologische Verantwortung dieser Flächenwirtschaft, u. a. wegen der ökosystemaren Regelungs- und Produktionsfunktionen als auch der Lebensraumbereitstellung, ebenfalls ständig neu zu definieren (vgl. MOOG und OESTEN, 2001; HÖLTERMANN und OESTEN, 2001). Auch die Flächenausdehnung und extensive Bewirtschaftung spielen aufgrund der Einflüsse auf Organisations- und Kommunikationsstrukturen eine besondere Rolle (MOOG und OESTEN, 2001: 4). Ein großer Teil des Forstsektors befindet sich in öffentlicher Hand (mehr als die Hälfte des Waldbesitzes) (vgl. MOOG und OESTEN, 2001; WINKEL und VÖLZ, 2005; HAMPICKE, 1996; GRONEGGER, 2004). Aus den bisherigen Besonderheiten lässt sich ableiten, dass die Forstwirtschaft eine ökonomische Analyse erschwert. Ökonomisch richtiges, rationales Handeln liegt nicht immer „auf der Hand“, u. a. z. B. wegen (eventuell nicht genau schätzbarer) langer Diskontierungszeiträume, Schwierigkeiten bei der Bestimmung des Zinssatzes (HAMPICKE 1996: 66).

Feldgehölze stellen ökonomisch lediglich einen Spezialfall dar, gewissermaßen eine kleine Busch- bzw. Waldinsel, die keinen wesentlichen Holzeinschlag ermöglicht, ihr Nutzen liegt daher primär im Erosions- und Windschutz. Im Wesentlichen gilt die folgende Analyse auch für Feldgehölze.

Die betriebswirtschaftliche Lage der Forstwirtschaft war in den letzten Jahren durch eine Ertragskrise gekennzeichnet. Im Gegensatz zum Privatwald ist der öffentliche Staatswald meist defizitär und wird es auch auf absehbare Zeit bleiben. THOROE weist in seinem Testbetriebsnetz (Daten für 1993-2002) als Reinbetrag ohne Förderung 2002 für Privatbetriebe im Durchschnitt + 22,77 €/ha aus. Für die Staatswälder sind ca. – 100 €/ha zu verzeichnen, für die Körperschaftswälder etwa – 50 €/ha (vgl. THOROE, 2005). Dies begründet sich durch klassische Ungunstdfaktoren der Urproduktion, stagnierende Produktpreise und steigende Arbeitskosten. Weltweit herrscht eine relative Überflusssituation an Holz. Weiterhin ist auch die Nachfrage nach Holz im Kontext bedeutender, Holz sparender technischer Fortschritte (z. B. im Zellstoff und Papiersektor) gesunken. Somit ist zu schlussfolgern, dass es auf der Ertragsseite in Zukunft keine wesentliche Verbesserung der Lage geben wird. Auf der Kostenseite herrschen zwar Möglichkeiten zur Verbesserung der Kosteneffizienz (z. B. Rationalisierung) vor, die aber nicht überschätzt werden dürfen. Erkennbar ist daher, dass in Zukunft Lösungskonzepte zur Sicherung der Rentabilität der Forstwirtschaft gefunden werden müssen. Bisher deckt die öffentliche Hand die Defizite in den Staatswäldern (vgl. WINKEL und VÖLZ, 2005; MOOG und OESTEN, 2001; HAMPICKE, 1996; THOROE, 2005). Weiterhin ist zu bedenken, dass eine Aufforstung bzw. ein Feldgehölz Opportunitätskosten in Form von entgangener landwirtschaftlicher Nutzung verursacht. Ein Feldgehölz ist ggf. als „ökonomischer Dauerschaden“ anzusehen, da eine Rückwandlung wegen Cross Compliance (ab 100 m²) ausgeschlossen sein kann (vgl. SERVICE D'ÉCONOMIE RURALE, 2005; BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN SOWIE UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2005). Zu prüfen ist, inwieweit die steigende Nachfrage nach Brennholz in gewissem Umfang die Ertragssituation in der Forstwirtschaft verbessern kann. Für weiterführende Rechnungen zu Feldgehölzen und Aufforstung vergleiche ROTH und BERGER (1999: 16f).

Die Beispielrechnungen zur Aufforstung im Anhang dieses Endberichtes bestätigen (unter den dort beschriebenen Einschränkungen) die betriebswirtschaftlichen Probleme. Es soll an dieser Stelle vorgegriffen werden: Auch volkswirtschaftlich erscheint die Aufforstung unter den monetarisierten Nutzen und Kosten unattraktiv. Konstatiert werden muss aber auch, dass viele Nutzen nicht monetarisierbar sind und in der Beispielrechnung fehlen. Eine sichere, ökonomische Empfehlung für die Forstwirtschaft kann unter Verwendung der verfügbaren Daten daher in diesem Bericht nicht getroffen werden.

8.2.1.4.2 Volkswirtschaftliche Nutzen und Kosten der Aufforstung

Gemessen an volkswirtschaftlichen Kriterien, wie dem Bruttosozialprodukt oder der Bereitstellung von Arbeitsplätzen, sinkt die ökonomische Bedeutung der Branche stetig. Dieser Trend setzt sich wahrscheinlich fort. 2001 erwirtschaftete die Forstwirtschaft am Produktionswert der Gesamtwirtschaft weniger als 0,6 % am Produktionswert. Ca. 1 % der Erwerbstätigen arbeitet in der Forstwirtschaft. Ökonomische Bedeutung gewinnt die Forstwirtschaft nur, wenn man die nachgelagerten Wirtschaftsbereiche mit einbezieht. Betrachtet man das Holz- und Forstcluster, so lässt sich konstatieren, dass ca. 1 Mio. Beschäftigte ca. 120 Mrd. €, also etwa 3 % des Produktionswertes der Ge-

samtwirtschaft, auf sich vereinen. In diesem Cluster nimmt die Forstwirtschaft einen kleinen Teil ein. Auch genießt die Branche keinen Außenhandelsschutz wie z. B. die Landwirtschaft und muss sich somit voll der Konkurrenz am Weltmarkt stellen (vgl. WINKEL und VÖLZ, 2005; HAMPICKE, 1996). Allerdings ändert sich die gesellschaftliche Wahrnehmung des Waldes stark. Beispielsweise rückt für viele Bürger der Naherholungswert in den Vordergrund, so dass Maßnahmen der Holzernte sogar Zielkonflikte hervorrufen können. Die volkswirtschaftliche Bedeutung konzentriert sich aufgrund der geringen bzw. problematischen ökonomischen Bedeutung weniger auf die Rohholzproduktion als auf die Schutz- und Erholungsleistungen (vgl. WINKEL und VÖLZ, 2005; THOROE, 2005). Damit lässt sich konstatieren, dass die wirtschaftliche Nachhaltigkeit der Forstwirtschaft extrem gefährdet ist. Folge der geringen Rentabilität ist eine geringe Investitionsquote, welche die Wettbewerbsfähigkeit weiter verringert (vgl. THOROE, 2005).

8.2.1.4.2.1 Hochwasserschutzaspekte

Die Bedeutung einer Aufforstung für den Hochwasserschutz ergibt sich aus der Verminderung des Oberflächenabflusses (z. B. durch Speicherung im Boden) als auch der unterschiedlichen Verdunstungsformen des Niederschlages im Wald. Die Interzeption stellt die Verdunstung von Niederschlag dar, der auf Blättern und Astwerk hängen bleibt, Evaporation bezeichnet die Verdunstung aus dem Waldboden und Transpiration die Aufnahme des Wassers durch Pflanzen und die spätere Verdunstung. Durch die Interzeption werden ca. 30 % des jährlichen Freilandniederschlages verdunstet, bevor dieser den Boden erreicht, für die Hochwasserentstehung ist seine Bedeutung trotzdem gering. Im Gegensatz dazu treten bei landwirtschaftlichen Flächen nur etwa 10 % an Interzeption auf. Weiterhin erhöht sich durch die ganzjährige Pflanzendecke und z. B. das damit einhergehende Wurzelsystem die Infiltrationskapazität. Auf einem m² können durch Infiltration ca. 60 - 75 l versickern. Wald fungiert somit für den Hochwasserschutz dominant durch seinen Bodenwasserspeicher. Die Möglichkeit einer Wasserspeicherung im Boden hängt allerdings vom Oberboden ab, d. h. seiner Bodenmächtigkeit, seinem Porenraumes sowie seinem Vorfüllungsstatus durch z. B. vorangegangenen Niederschlag. Im Winter wird durch die verminderte Sonneneinstrahlung außerdem die Schneeschmelze verzögert und somit auch ein Wasserabfluss von den Forstflächen.

Durch die signifikante Minderung des Oberflächenabflusses mindert Wald auch die Wind- und Wassererosion. Dies kommt besonders benachbarten Flächen zugute, weil der Wald als „Erosionssperre“ fungiert. Gerade im Bereich des Lawinenschutzes im Gebirge spielt eine Aufforstung eine gewichtige Rolle. Weiterhin schwemmt eine starke Erosion Sediment ab und damit auch „Boden als Wasserspeicher“ sowie „Boden als Lebensraum für Pflanzen und Tiere“ (z. B. Regenwürmer). Besonders Regenwürmer und Pflanzen erhöhen die Makroporenbildung und dadurch die Infiltrationsrate für den Hochwasserschutz. Erosion gilt somit als direkte Bedrohung für einen effizienten Hochwasserschutz (vgl. LANDESFORSTPRÄSIDIUM SACHSEN, 2003; AGDW, 2000; SDW, 2003b; WEINMEISTER, 2003; LWF, 2004). Die oben beschriebenen Zusammenhänge treffen tendenziell auch für Feldgehölze zu, nur dass deren Fläche meist klein ist und nur lokale Bedeutung für einzelne Landwirte aufweisen dürfte.

Die monetäre Hochwasserschutzwirkung lässt sich nur sehr schwer und mit hohem Aufwand detailliert darstellen. Im Rahmen der limitierten Möglichkeiten des Projektes soll daher eine grobe Durchschnittsbetrachtung von Wald verfolgt werden. Für vertiefte Modelle, auf die im Rahmen des Projektes aus Datenmangel nicht zurückgegriffen werden konnte, sei auf LWF (2004) verwiesen. Möglichkeiten stellen der Ersatzkostenansatz und der Produktions-Funktionsansatz dar (vgl. LWF, 2004). Der zweite Ansatz soll nicht weiter verfolgt werden, weil die Unsicherheiten bei der Ermittlung von Schadenserwartungswerten zu groß erscheinen bzw. nicht flächendeckend für Sachsen vorliegen und zusätzlich abhängig von Gebiet und Region und Besiedlungsart (z. B. Großstadt oder Dorf) sind. Für den ersten Ansatz wird ein Durchschnittswert für den Wasserrückhalt in Wald verwendet, möglich wäre es aber auch, nach verschiedenen Waldtypen zu differenzieren (Bergwald, Auwald etc.). Hier soll allerdings nur eine grobe Abschätzung vorgenommen werden, weil nicht bekannt ist, in welchen Regionen welche Art Wald aufgeforstet werden wird.

Folgt man dem ersten Ansatz, so lässt sich vorerst festhalten, dass im Durchschnitt wie bereits erwähnt ca. 60 - 75 l pro m² an Niederschlag gehalten bzw. versickert werden können. Als vorsichtige Schätzung soll hier der untere Wert von 65 l/m² angenommen werden (als Pauschalwert, ohne z. B. verschiedene Bodenarten mit ein zu beziehen). Bei Rodung des Waldes entfällt diese Kapazität. Allerdings muss die Versickerungsleistung der nachfolgenden Flächennutzung für die Ermittlung des Nettonutzens noch abgezogen werden. Denkbar wäre z. B. eine Folgenutzung durch Grünland oder Acker. Als Beispiel wird eine total versiegelte Fläche herangezogen (worst-case-Versickerungsleistung von 0). Weiterhin wird als vorsichtige Schätzung bei der Versickerungsleistung von Wald pauschal etwa ein Drittel an schnell abfließenden, unterirdischen Abflüssen unterstellt, die den Wert von 65 l senken. Als Verlust an Versickerungsleistung bei Rodung sollen rund 40 l pro wegfallendem m² Wald angenommen werden.

Laut Landesentwicklungsplan soll der Waldanteil in Sachsen auf 30 % der Fläche Sachsens anwachsen, d. h. ca. 3 % Zuwachs sind zurzeit das Ziel (LANDESFORSTPRÄSIDIUM SACHSEN 2003: 31). Dabei soll hier aus Hochwasserschutzsicht die Annahme getroffen werden, dass die Aufforstung unter anderem verstärkt im Erzgebirge stattfinden müsste, weil hier teilweise sehr starker Bedarf besteht (ebenda). Sachsen weist eine Fläche von 1 841 329 ha auf (SMUL, 2005e), d. h. für die Aufforstung wird als Prämisse eine Fläche von rund 55 250 ha (Rechenweg: 0,03 x 1 841 329 = 55 239,87) als notwendig erachtet. Wahrscheinlich ginge diese Fläche zu großen Teilen zu Lasten der Landwirtschaft. Dies lässt gleichzeitig Schlüsse über die zu erwartenden Opportunitätskosten für den einzelnen Landwirt zu, die sich dann an entgangenen Erträgen orientieren müssten. Möglich ist dabei, dass Landwirte verstärkt versuchen würden, Minderertragsstandorte aufzuforsten. Eine Aufforstung um 55 250 ha würde (bei Beachtung der oben gemachten Einschränkungen wie vorhandener Bodenvorfeuchte etc.) 22,1 Millionen Kubikmeter Rückhalt generieren können.

Nehmen wir an, eine gleich große Fläche würde heute gerodet, so könnte man nach dem Alternativkostenansatz einen diese Menge ausgleichenden Polderbau prognostizieren, dessen Errich-

tungskosten mit dem geringen Wert von 5 €/m² angesetzt wird. Höhere Kosten werden vernachlässigt, die verwendeten 5 € stellen einen bewusst niedrig gewählten Wert dar, um die doch sehr beschränkte Wirkung von Wald (keine effiziente Steuerung von Hochwasserspitzen wie z. B. bei Poldern, Problem der Vorfeuchte des Bodens etc.) darzustellen (vgl. LWF, 2004). Somit würden einmalig 110,5 Millionen € an Polderbaukosten notwendig werden. Im Gegenschluss kann der Aufforstung (bei den gemachten Einschränkungen beim theoretischen Ansatz (siehe konservierende Bodenbearbeitung)) ein Wert für den Hochwasserschutz von 110,5 Mill. € zugewiesen werden, entsprechend 2000 €/ha. Dies sind kostenrechnerisch auf 25 Jahre verteilt pro Jahr 80 €/ha, welche in der Folge diskontiert werden müssen. Es sind weiterhin 2,21 Millionen € entfallende Pflegekosten, d. h. 40 €/ha, zu beachten, die ebenfalls diskontiert werden müssen (vgl. Straßburger, 2005).

Diese Nutzenseite muss um Kostengrößen der Aufforstung erweitert werden. Im Anhang findet sich eine Beispielrechnung mit diskontierten Nutzen und Kosten (siehe Tabelle 5, Anhang Ökonomie), die u. a. auf die Angaben einer regionalen Baumschule zurückgreift, allerdings die Erlöse aus dem späteren Holzeinschlag ausklammern muss, da hierfür computergestützte Wachstums- und Kalkulationsmodelle und/oder Ertragstabellen sowie diverse nicht vorhandene Eingangsdaten notwendig sind (vgl. LANDESFORSTPRÄSIDIUM SACHSEN, 2005; SCHUMANN und WURZ, 2006). Schwierig bei der Betrachtung ist, dass im Gegensatz zur konservierenden Bodenbearbeitung nicht eine Schätzung über die jetzige Ackerfläche errechnet werden kann. Wald verdrängt andere Nutzungen. Siedlungen werden wegen ihrer Nutzung als Lebens- und Wohnraum, genau wie Grünland aufgrund der beschriebenen Regelungen der Cross Compliance, wahrscheinlich wenig oder nicht umgebrochen um für die Aufforstung herangezogen zu werden. Übrig für eine Flächenabgabe bleibt als größter Flächennutzer oft nur die Landwirtschaft in Form des Ackerbaus. Weiterhin ist es weder für Staatswälder noch für Privatbetriebe wie Landwirte betriebswirtschaftlich ohne Förderung sinnvoll, Ackerland umzubereiten, um Forstwirtschaft zu betreiben, da die Deckungsbeiträge entweder relativ gering oder schlimmstenfalls sogar negativ sind (z. B. bei den Staatswäldern) und die landwirtschaftliche Flächenprämie (bis zu 308 €/ha) verloren geht.

8.2.1.4.2.2 Offsitekosten und weitere Aspekte

Weiterhin ist noch anzumerken, dass die Offsite-Kosten der vorigen Nutzung gänzlich entfallen. Auch die Erosion ist nahezu mit 0 anzusetzen. Für die entfallenden Offsite-Kosten werden 7 € als Minimalwert für nicht anfallende Sedimententfernungskosten angesetzt (vgl. Brand-Sassen, 2004 und den Abschnitt über konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat). Die gesamten Offsite-Kosten liegen sicher weitaus höher (es sei an die Schätzung von 115 €/ha an externen Kosten erinnert), da z. B. Kosten der Trinkwasserreinigung wegen der diffusen Austräge der Landwirtschaft, bodenbedingte Krankheiten etc. hinzuzurechnen sind.

Der Erholungswert der Landschaft, und eng damit verbunden, der Wert des Waldes in der Landschaft für den Tourismus und seine ästhetische Funktion, stellt eine weitere, wichtige Nutzengröße

dar. Die Bewertung dieser Funktionen wurde in der Vergangenheit z. B. über Befragungsmethoden (kontingente Bewertungsmethode) geschätzt, empfing aber wegen diverser Angriffspunkte in der Methodik viel Kritik. Weitere Nutzengrößen sind Jagdsport im Wald, der Lärmschutz z. B. für Siedlungen gegen Straßen sowie historische Wälder mit Denkmalfunktion (vgl. MOOG und OESTEN, 2001; SCHUMANN und WURZ, 2006).

Zum einen ist als Nutzen die CO₂-Senken-Funktion zu nennen (vgl. UBA, 2001a; SCHUMANN und WURZ, 2006). In mittleren Breiten, in denen sich auch Deutschland befindet, sind die Wälder insgesamt signifikante Kohlenstoffsinken. Urwälder und Wälder ohne Holznutzung sind als CO₂-neutral anzusehen, vorratsreiche Wirtschaftswälder binden auf lange Sicht mehr Kohlenstoff als intensiv genutzte Forstflächen. Weil eine nachhaltige Forstwirtschaft auf hochwertige Hölzer abzielt, steht sie, im Gegensatz zu einer Holzwirtschaft, welche auf kurzfristig erzeugte, geringwertigere Hölzer zielt, im Einklang mit dem weltweiten Ziel des Klimaschutzes (vgl. AGDW, 2000). Die Filterfunktion von Wäldern für Luftschadstoffe im Vergleich zur Freilandvegetation ist weitaus stärker. Ganzjährig benadelte Bäume wie Fichte und Kiefer weisen dabei die größte Filterfunktion auf (ebenda). Weiterhin sorgt Wald für stabile Stoffkreisläufe sowie als Schadstoffsinke. Beispiele sind der Stickstoffkreislauf oder die Funktion als Staubfilter. Außerdem fungieren Wälder als Regulator für das Global- als auch das Lokal- und Regionalklima (MOOG und OESTEN 2001: 3).

8.2.1.5 Vegetationsstreifen und Abflussmulden

Unter Vegetationsstreifen werden im Folgenden Grünstreifen verschiedenster Bepflanzung (Gras, Leguminosen, Hecken etc.) verstanden (wie im Steckbriefteil beschrieben). Die Abflussmulde soll ebenfalls behandelt werden, da sie vom Bewuchs her Maßnahmen wie dem grassed waterway ähnelt. Die Form der Mulde weist i.d.R. keine lineare Form (d. h. keine Streifenfläche) auf, sondern runde oder ovale Flächen. Die Mulde unterscheidet sich ökonomisch kaum von den Vegetationsstreifen, da auch sie keine Erträge generiert und landwirtschaftliche Fläche der Produktion entzieht. Die Aussagen für Grünstreifen sollen daher tendenziell auch für Mulden gelten, sodass diese nicht extra erwähnt wird. Im Falle von Grünstreifen wird im ersten Schritt von Anlagen quer zur Gefälle- richtung ausgegangen. Eine Anlage längs zum Gefälle macht eher Sinn im Kontext z. B. einer Abflussbahnbegrünung (grassed waterway). Weiterhin werden vorerst Grünstreifen in allgemeiner Form behandelt (also Gras und- Leguminosenaussaaten) und in einem zweiten Schritt Spezialfälle von Vegetationsstreifen, wie z. B. Hecken (vgl. ANL, 2005a). Die Begriffe Grünstreifen und Vegetationsstreifen werden synonym verwandt.

8.2.1.5.1 Allgemeine Aussagen über einzelwirtschaftliche Erlöse und Nutzen

Grünstreifen und Abflussmulden liefern tendenziell keine Ernte in Form von Mahd oder Holz, da die Fläche meist zu gering ist (vgl. BRAND-SASSEN, 2004; NABU, 2005). Ein Nutzen für den Landwirt ergibt sich dagegen aus dem Wind- und Wassererosionsschutz (vgl. SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2004a; SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, 2000; ANL, 2005b) (durch höhere Infiltration und abbremsende Wirkung), im Falle der Wassererosion beson-

ders, wenn die Grünstreifen quer zur Gefällerrichtung angelegt werden (vgl. SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, 2000). Die Wirksamkeit dieser Grünstreifen wird durch die Streifenbreite (bzw. Fläche), den Streifenabstand und die Art und den Grad der Bodenbedeckung, der Hangtopographie, der Sedimentkonzentration, der Abflussintensität und der Bewirtschaftungsmethode der Bodenbearbeitung determiniert. Uferrandstreifen sollten mindestens 10 m breit sein. Normale Hecken werden mit 5 - 10 m angenommen, während für Feld- und Wegraine 6 - 10 m und für diverse Saumbiotopie wie Wiesenraine (z. B. Gras- und Krautsaum), Waldränder etc. 3-50 m anzusetzen sind (vgl. SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, 2000). Je größer die Breite der Vegetationsstreifen, desto mehr Fläche entfällt für den Ackerbau. Dies verringert i.d.R. die Erlöse des Landwirtes.

Die Grünstreifen wirken damit wie eine Hanglängenverkürzung. Kritisch muss angemerkt werden, dass der Grünstreifen, im Vergleich z. B. zur Mulchsaat, eher für die Prävention von Offsite-, weniger für die Verhinderung von Onsiteschäden genutzt werden kann, da die Umlagerung auf der Ackerfläche durch Grünstreifen nicht zwingend verhindert wird (vgl. SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2004b; ZIMMERLING, 2002; ARBEITSGEMEINSCHAFT BODEN- UND GEWÄSSERSCHUTZ, 2000). Die Erosionsminderung ist signifikant, in ihrer Höhe jedoch nicht eindeutig festzulegen und von Fall zu Fall sehr unterschiedlich in der Wirkung. Eine Bandbreite von etwa 20 – 95 % der Erosionsminderung bei Grünstreifen in Form von Grassaat ist anzunehmen (vgl. BRAND-SASSEN, 2004; ZIMMERLING, 2002; ARBEITSGEMEINSCHAFT BODEN- UND GEWÄSSERSCHUTZ, 2000). Bei Uferrandstreifen konnten Abflussminderungen von 100 % gemessen werden. Allerdings ist zu kritisieren, dass eine hohe Makroporendichte Wasser auch schnell unterirdisch ableiten kann und Uferrandstreifen meist an zur Wassersättigung neigenden Standorten angetroffen werden, was die Speicherkapazität senkt (SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, 2000: 32f.) und z. B. Oberflächenabfluss begünstigen kann. Somit muss durch einen Uferrandstreifen nicht zwingend ein Nutzen für den vorbeugenden Hochwasserschutz entstehen. Die Wirksamkeit steigt bei höherer Hangneigung und damit potenziell höheren verhinderbaren Erosionsschäden und bei wachsender Streifenbreite.

Die verminderten Erosionsschäden lassen sich wie schon bei der konservierenden Bodenbearbeitung schätzen. Am Hang liegt die Erosion i.d.R. höher als auf normalen Flächen. Kritisch ist anzumerken, dass die Grünstreifen eine Mindestbreite besitzen müssen, da das abfließende Wasser sonst praktisch ungehindert hindurch fließen kann. Die Bepflanzung spielt in diesem Sinne eine gewichtige Rolle, da diese maßgeblich über die Infiltrationsrate entscheidet. Ein weiterer Nutzen besteht in der Verringerung des Risikos der Umbruch- und Neuansaatkosten. Hierzu liegen allerdings bisher keine Untersuchungen vor (BRAND-SASSEN 2004: 203). Bei Grünstreifen aus Leguminosen, die kurzfristig angelegt werden, besteht weiterhin die Möglichkeit, den Boden Zeit zur Erholung und Nährstoffregeneration zu geben und den aufgewerteten Boden in der nächsten Periode wieder zu nutzen. Weil Grünstreifen aber i. d. R. nur einen geringen Anteil der Gesamtackerfläche ausmachen, wird dieser Effekt hier vernachlässigt.

8.2.1.5.2 Allgemeine Aussagen über die Kosten von Grünstreifen

Als Kostenpositionen sind zunächst die Verfahrenskosten der Anlage und die Saatgutkosten anzuführen. Die Kosten variieren je nach Schlaggröße, Reihenabstand, Streifenbreite und Art des Saatgutes und der Bewirtschaftungsrichtung zum Hang. BRAND-SASSEN (2004) nennt beispielhaft für die Einsaat von Grassamen und einen Schnitt für einen 1 ha Schlag 170 € Kosten durch die Nutzung einer Sämaschine und eines Kreisel- oder Scheibenmähwerkes. Dies entspricht $0,017 \text{ €/m}^2$. Je nach Anlage/Flächenverbrauch der Streifen kann man so auf die Gesamtkosten schließen). Möglich ist der Rückgriff auf diverse KTBL-Daten, um Kosten für Gras-Saatgut und Verfahrensgänge zu bestimmen (vgl. KTBL, 2002a). Eine Behandlung mit Unkrautvernichtungsmittel ist nicht zwingend, muss aber bei großem Unkrautdruck durchgeführt werden (BRAND-SASSEN 2004: 20). Möglich ist auch die Verwendung einer großen Anzahl von anderen Kulturen, z. B. Wintergerste oder diverse Leguminosen, oder Röhricht im Falle einer Mulde, die möglichst dicht stehen sollten. Die Kosten des Saatgutes ändern sich je nach Wahl (siehe KTBL-Daten). Weiterhin ist es unter naturschutzfachlichen Gesichtspunkten sinnvoll, einen Anteil Kräutersamen beizumischen, wie z. B. Spitzwegerich, Wiesenschafgarbe etc. Die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft gibt für eine Neuansaat von Gras-Grünstreifen diverse Empfehlungen für Saatgut und Aussaattechnik. Die Wahl des Saatgutes richtet sich nach den Standortgegebenheiten des Schlages wie Niederschlagsverteilung, Höhenlage etc. (vgl. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2001b).

Die Opportunitätskosten in Form von Erwerbsverlusten auf der Grünstreifenfläche sind u. a. durch die Wahl der Fruchtfolge bzw. die Marktpreise angebaute Feld-Früchte determiniert. Weiterhin sind sie abhängig vom Standort und dessen durchschnittlicher Ertragshöhe. Wählt man z. B. die Fruchtfolge WR-WW-WG, so beträgt demnach der durchschnittliche Erwerbsverlust über die Fruchtfolge 427 €/ha/a (vgl. BRAND-SASSEN, 2004, für die detaillierte Berechnung: Brand-Sassen 2004: 194; Deckungsbeitrag inkl. Flächenbezogener öffentlicher Zuwendungen, mittleres Ertragsniveau, ohne USt.). Wie zuvor ist der Verlust wieder von der Streifenbreite/Fläche, dem Reihenabstand etc. abhängig (ebenda). Die Erwerbsverluste bei individueller Fruchtfolge lassen sich z. B. über Datensammlungen wie Richtwertdeckungsbeiträge der Landwirtschaftskammer Hannover schätzen (für Niedersachsen) oder die Internetseite des SMUL (für Sachsen) (vgl. LWK HANNOVER, 2004; SMUL, 2005f).

Weitere Kosten können durch die mit Grünstreifen eventuell verbundene Schlagverkleinerung durch höhere Arbeits- und Maschinenkosten entstehen. Diese können durch die Anpassung der Kontur(gras)anlage an die vorhandene Arbeitsbreite der Maschinen und Geräte gesenkt werden. Es können sich auch erhebliche Veränderungen in der Schlagstruktur ergeben, sodass sich die Vorgewendefläche signifikant erhöht. Auf Vorgewendeflächen ergeben sich Ertragverluste, so dass ihre Erhöhung eine Erhöhung der Ertragsverluste impliziert (BRAND-SASSEN 2004: 202). Nach Schätzungen von BRUNOTTE (2000) liegen diese Verluste auf Vorgewendeflächen zwischen 5 % und 27,5 %. Ältere Schätzungen weisen eine Bandbreite von etwa 13-50 % auf (vgl. BRAND-

SASSEN, 2004). Zusätzlich können weitere Pflegekosten wie Mahd auftreten (vgl. ROTH und BERGER, 1999).

Ökonomisch gesehen sind Gewässerrandstreifen, grassed waterways, Gras- und Krautsäume sowie Hecken und Abflussmulden Spezialfälle der normalen Gras- und Krautstreifen. Sie variieren lediglich die Art des Saatgutes oder erfordern gezielte Strauchpflanzungen oder aber variieren die Lage des Streifens (z. B. am Rand des Feldes oder in einer erosionsgefährdeten Tiefenlinie). Das Risiko von Neuansaat bei Starkregen besteht im schlechtesten Fall sogar weiterhin, wenn die Schutzstreifen ungünstig (z. B. am Rand des Schrages und nicht parallel zur Hangneigung) liegen. Weiterhin gilt für Gewässerrandstreifen das Verbot der Pflanzenschutzmittel und der N-Düngung. Dies leitet sich aus den jeweiligen Landesgesetzen ab (vgl. SMUL, 2005d; § 50 III S. 1 Nr. 2 SächsWG). Ggf. können bei der Mulde weitere Pflegekosten durch Ausbaggerung auftreten.

Im Falle von Gewässerrandstreifen in naturnaher oder natürlicher Ausprägung ist der betriebswirtschaftliche Schaden ggf. irreversibel, d. h. die Fläche kann nicht in Acker zurückgewandelt werden und dem Landwirt keine Erträge mehr liefern. Die Zerstörung oder sonstige erhebliche oder nachhaltige Beeinträchtigung schließt § 30 BNatSchG aus. Die Länder sind außerdem aufgefordert, Gewässer und Gewässerrandstreifen als Lebensstätten und Lebensräume für heimische Tier- und Pflanzenarten zu erhalten und so weiter zu entwickeln, dass sie ihre großräumige Vernetzungsfunktion auf Dauer erfüllen können (§ 31 BNatSchG). Die Länder können allerdings in ihren jeweiligen Landesgesetzen Ausnahmen vom § 30 BNatSchG zulassen, wenn diese Beeinträchtigungen ausgeglichen werden können oder die Maßnahmen aus Gründen des Gemeinwohls zu rechtfertigen sind.

Eine Hecke oder ein Grünstreifen (falls er z. B. Bäume aufweist) ist aber ggf. als „ökonomischer Dauerschaden“ anzusehen, da eine Rückwandlung wegen Cross Compliance ausgeschlossen sein kann (vgl. SERVICE D'ÉCONOMIE RURALE, 2005; BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN SOWIE UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2005).

8.2.1.5.3 Spezialfall Hecken

Der Nutzen von Hecken liegt wie beschrieben in der Bodenfestlegung und damit dem Schutz vor Wassererosion und Bodenbewegung in Hügellandschaften, im Mittel- sowie Hochgebirge. Darüber hinaus ist es möglich (bei richtiger Heckenwahl), Winderosion zu vermindern und Pflanzen durch den Windschutz besser gedeihen zu lassen. Bis zu 25 % an Ertragssteigerungen bei Weizen und Mais sind möglich. Die meisten Quellen gehen allerdings von moderaten Schätzungen von ca. 5 - 10 % aus (vgl. REIF und ACHTZIGER, 2000; BRAND-SASSEN, 2004). Weitere ökonomische Effekte sind entweder gering oder nicht unbedingt nachweisbar (z. B. Blüten für Bienen fördern die Honigproduktion; Greifvögel vermindern die Bedrohung durch Mäuse). Ebenfalls ändern sich möglicherweise die Kosten z. B. bei der Anlage einer Hecke (Vegetationsstreifen aus Sträuchern und Bäumen, 2 – 6 m hoch (vgl. NABU, 2005)) durch höhere Verfahrenskosten (z. B. Einsetzen von jungen

Sträuchern statt Saatgutablage) oder teureren Ankauf von Jungpflanzen, deren Kosten über denen normalen Saatgutes z. B. für Grasland liegen (vgl. BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN SOWIE UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2005; BRAND-SASSEN, 2004). Es besteht die Vermutung, dass der Schattenwurf (führt zu einer Unterscheidung zwischen der sonnenexponierten und der Schattenseite) z. B. von Hecken den Aufwuchs der Kulturfrüchte verlangsamt oder behindert. Dieses Problem lässt sich beim naturnahen Landbau durch die Pflege des Wildkrautsaumes und durch die Anlage von Ackerrandstreifen vermeiden. Wissenschaftlich konnten die negativen Wirkungen eines Schattenwurfes bisher aber nicht signifikant nachgewiesen werden (vgl. REIF und ACHTZIGER, 2000; BRAND-SASSEN, 2004).

Im Falle von Hecken fallen Investitionskosten in Form von Zäunen (im Falle von Wildverbiss), Baummanschetten, Draht, veränderlichen Maschinenkosten durch Pflanzungskosten, Bewässerung, Leitung und Verwaltung sowie Festkosten in Form von Abschreibungen für Gebäude und Maschinen und Zinskosten an (vgl. BRAND-SASSEN, 2004). Als kostengünstiger Sonderfall kann die Benjes-Hecke angeführt werden (NABU 2004: 2). Es fallen bei Gras- und Krautsäumen mit Buschwerk als auch Hecken Pflegekosten (sogenanntes „Auf-den-Stock-setzen“) für das Zurückschneiden von Sträuchern und Bäumen an, die sonst in den Schlag hineinragen und die landwirtschaftliche Nutzfläche behindern. Weiterhin würde die Hecke ohne Pflege ihren ökologischen Wert als Hecke verlieren und anderen Landschaftsformen (z. B. Feldgehölz, Wald) Platz machen (vgl. REIF und ACHTZIGER, 2000; BRAND-SASSEN, 2004; NABU, 2005, BRAND-SASSEN, 2004, ROTH und BERGER, 1999).

BRAND-SASSEN errechnet bei Verwendung der KTBL-Daten unter der Prämisse von 427 € Ertragsverlust pro ha für einen laufenden Meter (6 m breit) einen Verlust von 0,25 €/a, kapitalisiert diesen über 25 Jahre und weist damit für einen laufenden Meter den dauerhaften Verlust von etwa 6,4 €/lfdm aus. Die Pflege einer Hecke kann entweder manuell oder maschinell erfolgen. Bei manuellem Schnitt und einer Entnahmemenge von 25 % des Bewuchses sind etwa 6,4 Akhmin/m² anzusetzen, dies entspricht Arbeitskosten von ca. 1,6 €/m² und Pflegekosten von 9,6 €/lfdm. Wird die Hecke maschinell gestutzt (Schneidwerk), ergeben sich bei 0,2 Akhmin/lfdm (Arbeitszeitminuten pro laufendem Meter) geringe Kosten von 0,05 €/lfdm. Damit errechnen sich, addiert mit den Maschinenkosten von 0,05 €/lfdm, Pflegekosten von 0,10 €/lfdm. Üblicherweise wird eine Hecke etwa alle 10 Jahre gestutzt (vgl. NABU, 2005; Brand-Sassen, 2004). Andere Quellen schätzen für die Anlage der Hecke etwa 22 €/lfdm, wobei 50 % der Gesamtkosten aus Materialkosten besteht, davon ein Drittel Kosten für den Zaunbau. Diese Kosten können entfallen, wenn kein wesentlicher Wildverbiss droht. Weitere Quellen betätigen diese Berechnungen, indem sie etwa 17 €/lfdm angeben. Die Kosten können auch noch niedriger liegen, wobei dann aber Abstriche am Windschutz in Kauf genommen werden müssen (BRAND-SASSEN 2004: 193)

8.2.1.5.4 Volkswirtschaftlicher Nutzen der Vegetationsstreifen

Der verminderte Wasserabfluss von der Fläche mindert die Gefahr der Entstehung von Hochwassern, weil das abfließende Wasser vom Boden der Grünstreifen bis zu seiner Kapazitätsgrenze gespeichert wird. Monetäre Nutzengrößen können aber nicht erstellt werden, da sich die großflächige Anlage von Grünstreifen in ihrer Wirkung und Platzierung allein wegen der großen Standortvariabilität nicht schätzen lässt. Weiterhin werden weniger Stoffe wie Phosphat etc. in die Gewässer geschwemmt, so dass bei z. B. Wasserwerken bei der Trinkwasseraufbereitung weniger Reinigungskosten anfallen.

Der volkswirtschaftliche Nutzen besteht weiterhin in der deutlichen Verminderung von Offsite-Schäden. Erosive Abträge können signifikante Kosten für Gemeinden, Privatpersonen und Landwirte verursachen (vgl. z. B. SÄCHSISCHE ZEITUNG, 2004). Die Erosionsminderung durch Hecken, Feldraine und Gewässerrandstreifen wird vom BMVEL explizit empfohlen (BMVEL, o.A.). Speziell für Sachsen ist im Mittleren Erzgebirge besonders auf die so genannten Feldhecken und Steinrücken zu verweisen, welche auf die Besiedlung des Erzgebirges im 12./13. Jahrhundert zurückgehen. Diese Heckenart ist von kultur- und landschaftshistorischer Bedeutung, die es bei Erhalt von Vegetationsstreifen oder der mancherorts geplanten Aufforstung (die kontraproduktiv zum Landschaftsbild sein kann) zu beachten gilt (GÜTHLER et al., 2002: 59ff).

Der ökologische Nutzen von Vegetationsstreifen liegt insbesondere in der Vernetzung von Lebensräumen, in der Förderung der Biodiversität und in der Verminderung von Stoffausträgen (vgl. ANL, 2005a, b; BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN, 2002; NABU, 2005).

8.2.1.6 Schlagverkleinerung

Die Maßnahme der Schlagverkleinerung ist meist die Folgewirkung der Schaffung von Hecken, Säumen, Feldgehölzen und anderen, begrenzenden Faktoren des Schlages. Durch den Einbezug dieser Elemente wird der Schlag in mehrere Subflächen unterteilt. Weiterhin ist es aber auch möglich, den Schlag durch den Anbau verschiedener Marktfrüchte in Subflächen zu zerlegen.

8.2.1.6.1 Betriebswirtschaftliche Nutzen und Kosten der Schlagverkleinerung

Für die Kosten-Nutzen-Betrachtung sind zwei Fälle zu unterscheiden. Im Falle der Umstellung auf den Anbau verschiedener Kulturfrüchte auf Subflächen des ehemaligen großen Schlages verkleinert sich die Bewirtschaftungsfläche pro Marktfrucht, die Anbaufläche insgesamt muss sich dadurch aber nicht verringern. Die Umstellung auf die Bewirtschaftung mit verschiedenen Marktfrüchten auf den neuen Subflächen berührt die Stabilität der Erträge der Marktfrüchte nicht. Die Kostenseite verändert sich aber durch die geringere Fläche pro Marktfrucht (unter der Annahme, dass bei der Subflächenbildung neue Marktfrüchte zusätzlich angepflanzt werden), weil sich z. B. die Rüstkosten für eine Marktfrucht auf eine geringere Absatzmenge beziehen. Denkbar ist

aber auch, dass die Marktfrüchte von z. B. zwei Schlägen lediglich auf mehrere neue Flächen umverteilt werden. In diesem Fall sinkt die Anbaufläche pro Marktfrucht nicht, weil lediglich die Lage der Marktfrucht auf mehrere Subflächen umverteilt wird. Weiterhin ist es in ungünstigen Fällen möglich, dass sich die Vorgewendefläche erhöht. Dies muss aber nicht der Fall sein. Nimmt man beispielsweise eine Bewirtschaftung quer zum Hang vor, so ist es möglich, zwei parallel liegende, den Höhenlinien folgende Flächen zu bewirtschaften, die Vorgewendefläche erhöht sich dann nicht und eine Hochwasserschutzwirkung entsteht. Die Kostenänderung ist insgesamt aber als marginal anzusehen.

Als zweiten Fall ist die Entstehung kleinerer Schläge aufgrund der Schaffung von Grenzelementen wie z. B. Grasstreifen, Abflussbahnen oder Hecken zu betrachten. In diesem Fall ergeben sich zusätzlich zu oben genannten Kostengrößen und den Kosten der Anlage des Elementes signifikante Änderungen. Durch die Anlage der Grenzelemente entsteht ein Verlust an zu bewirtschaftender Ackerfläche und damit ein (ggf. dauerhafter) Erwerbsverlust in Höhe der lokal verwendeten Fruchtfolge (BRAND-SASSEN 2004). Weiterhin besteht die Möglichkeit der Änderung der Vorgewendefläche und darauf einer Ertragsreduzierung (ca. 5,6 bis 27,5 %), als auch einer Erhöhung der Arbeits- und Maschinenkosten durch erhöhte Wendevorgänge (ebenda). Letztere können durch die Anpassung der Kontur(gras)anlage an die vorhandene Arbeitsbreite der Maschinen und Geräte gesenkt werden.

8.2.1.6.2 Volkswirtschaftliche Nutzen und Kosten der Schlagverkleinerung

Zum einen kann eine Verminderung der Erosion und von On/Offsite-Kosten durch Verkürzung der abflusswirksamen Hanglänge angenommen werden, die im Vergleich zu anderen Maßnahmen (z. B. Direktsaat) aber gering ausfallen dürfte. Durch die eventuelle Anlage von Landschaftselementen bei der Schlagverkleinerung ist eine Aufwertung des Landschaftsbilds möglich. Die Hochwasserschutzwirkung der Maßnahme lässt sich per Literaturrecherche nicht abschätzen.

Im Fall von Schlagverkleinerungen durch z. B. die Anlage von Vegetationsstreifen oder Feldgehölzen liegt die Erhöhung des Vernetzungsgrades der Landschaft durch Erhöhung der Grenzliniendichte als Vorteil nah. Dabei ist die naturschutzfachliche Bedeutung von verkleinerten Bewirtschaftungseinheiten im Wesentlichen abhängig von der Nutzungsintensität, der Fruchtartenvielfalt und dem Vorhandensein von zusätzlichen Strukturelementen wie Hecken oder Gras-/Krautsäumen.

8.2.1.7 Konturnutzung

Häufig ergeben sich auf Ackerschlägen Probleme durch ablaufendes Wasser, welches in typischen Erosionsrinnen abfließt oder z. B. in den durch die Bewirtschaftung entstandenen, hangabwärts gelagerten Fahrspuren. Das ablaufende Wasser tritt dann meist in Verbindung mit Erosionsschäden und Sedimentabschwemmung auf, was wiederum zu Ertragsminderungen führen und Offsite-Kosten durch Schwemmgut auf Straßen, in Gräben etc. generieren kann.

8.2.1.7.1 Betriebswirtschaftliche Kosten und Nutzen der Umstellung der Bewirtschaftungsrichtung

Die bereits bestehende Bewirtschaftungsrichtung spielt eine signifikante Rolle, besonders, sofern man von längsgestreckten, rechteckigen Schlägen ausgeht (z. B. 200 m lang, 100 m breit). Solche Schläge werden häufig längs mit dem Gefälle bewirtschaftet. Es wäre denkbar, die Bewirtschaftungsrichtung umzustellen und den Schlag quer zum Hang (also höhenlinienparallel) zu bewirtschaften. Dies impliziert als Nutzen eine Abbremsung des abfließenden Wassers und eine Verminderung des Bodenabtrages (vgl. BRAND-SASSEN 2004). Auch kann sich das Risiko der Umbruch- und Neuansaatkosten senken lassen. Kosten ergeben sich aus der Erhöhung der Vorgewendefläche (s.o.) bei rechteckigen Schlägen. Bei quadratischen Schlägen entstehen hierdurch keine erhöhten Kosten. Die Steigerung der Vorgewendefläche durch Änderung der Bewirtschaftungsrichtung bei einem Schlag mit der Länge von 200 m und der Breite von 100 m und einer Vorgewendebreite von 10 m kann 100 % (1 600 m²) betragen. Die Bewirtschaftung quer zum Hang birgt noch weitere Kosten. Durch die Abdrift kann es zu einer schlechteren Arbeitsqualität bei Reihenkulturen kommen, mechanischen Beschädigungen bei Steuerfehlern sowie einer stärkeren Beanspruchung der Bodenstruktur etc. Die Gerätereinigung führt möglicherweise zum Versagen einiger Aggregate (Beispiel: Siebketten), einer Verminderung der Arbeitsgeschwindigkeit, einer stärkeren körperlichen Beanspruchung des Fahrers sowie einer schlechteren Arbeitsqualität bei wendender Bodenbearbeitung. Auch kann es zu einer erhöhten Unfallgefahr (Umsturz) kommen, da ggf. der dynamische Kippwinkel schwer einzuschätzen ist. Allerdings ist zu konstatieren, dass moderne Technik viele dieser Nachteile ausgleichen kann, z. B. durch automatische Hangaussgleichssysteme, Allradtraktoren etc (ebenda).

Angemerkt werden muss, dass die Bewirtschaftung quer zum Hang auf Grenzen stößt: Ein befriedigendes Ergebnis ist nur bis zu einer Hangneigung von ca. 20 % möglich. Höhere Hangneigungen verschlechtern das Kosten-Nutzenverhältnis deutlich (vgl. BRAND-SASSEN 2004). Die Konturnutzung ist nur bei schwach erosiven bzw. abflusswirksamen Niederschlägen wirksam.

8.2.1.7.2 Volkswirtschaftliche Kosten und Nutzen der Umstellung der Bewirtschaftungsrichtung

Die Wassererosionsminderung ist die einzige Nutzengröße. Sie lässt sich aber aus der Literatur heraus nicht quantifizieren.

8.2.2 Die Situation der Förderung der hochwasserschutzrelevanten Maßnahmen

8.2.2.1 Derzeitige Förderkulisse in Sachsen

Die derzeitigen Förderprogramme für die im Rahmen des Projektes relevanten landwirtschaftlichen Maßnahmen sind im Internet unter <http://www.sachsen.de/de/wu/foerderfibel> sowie unter http://www.smul.sachsen.de/de/wu/aktuell/foerderung/5_11.htm aufgeführt. Viele Maßnahmen lassen sich über mehrere Programme fördern. Die unten aufgeführten sächsischen Programme

liegen hauptsächlich in den Hauptbereichen Landwirtschaft, Naturschutz und Wasserwirtschaft. Meist ist die mehrjährige Förderung auf max. fünf Jahre begrenzt. Die Teilnahme ist freiwillig. Die von Landwirten erbrachten Hochwasserschutz- und Umwelleistungen weisen meist den Charakter öffentlicher Güter auf, deren Bereitstellung über den Markt nur in ungenügendem Umfang erbracht wird; hierauf begründet sich die Existenz der Förderprogramme, um diesen Mangel auszugleichen, indem der Staat als Nachfrager auftritt (vgl. SRU, 2004, BERTKE et al., 2003). Die Programme unterteilen sich in zwei Hauptgruppen. Zum einen die Förderprogramme, mit denen sich regelmäßige Zahlungen generieren lassen, wie z. B. im Fall des inzwischen ausgelaufenen Programms „Umweltgerechte Landwirtschaft“ (Beispiel Mulchsaat) oder der Aufforstung. Weiterhin existiert eine Reihe von Programmen, die Anteile an den Kosten einer Maßnahmenanwendung übernehmen, wie z. B. im Falle wasserbaulicher Maßnahmen. Kennzeichnend für die Programme im Bereich der Landwirtschaft ist, dass sie im Prinzip freiwillige Leistungen der Landwirte honorieren sollen, die über die heutige gute fachliche Praxis hinausgehen müssten, als auch über die gesetzlichen Mindeststandards wie das Bundesbodenschutzgesetz oder die Cross Compliance. (vgl. EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2006a; OSTERBURG und PLANKL, 2002). Kennzeichnend ist, dass meist die Programmteile signifikant genutzt werden, die nur marginal über der gfP liegen, während Teile, welche erheblich über der gfP liegen, kaum umgesetzt werden. Vor geraumer Zeit wurde u. a. auf Grund der Kontrollfähigkeit die Grundförderung sowie die Zusatzförderung I im Programm Umweltgerechte Landwirtschaft gestrichen (vgl. Europa Landwirtschaft und Umwelt, 2006; SMUL, 2006). Die Programme lassen sich weiterhin in eine Handlungs- und Ergebnisorientierung unterteilen, wobei die erstere in ihrer Bedeutung dominant ist. Ein Blick in die zu Grunde liegende EU-Politik (GAP, GAK, 1. und 2. Säule der Agrarpolitik, Kritik an der Cross Compliance etc.) kann im Rahmen des begrenzten Umfangs des Endberichtes nicht geleistet werden, daher wird auf die EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006), GÜTHLER und OPPERMANN (2005) und FAL (2003, 2005) als wichtige Grundlagenquellen verwiesen.

8.2.2.2 Aktuelle Entwicklungstendenzen

Die aktuellen wesentlichen Entwicklungstendenzen lassen sich in zwei Bereiche unterteilen. Zum einen ist das Programm „Umweltgerechte Landwirtschaft“ eines der für den landwirtschaftlichen Maßnahmenkatalog sehr bedeutenden Programme, Verlängerungen waren bis Ende 2005 möglich, nicht aber langfristige Neuverträge (vgl. RL – Nr. 73/2005). Zum anderen ist inzwischen das neue ELER-Programm angelaufen (ELER: Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums 2007 - 2013, Förderprogramm der EU zur Umsetzung der Cross Compliance-Regelungen). In diesem Programm wird ab 2007 die dauerhafte konservierende Bodenbearbeitung (d. h. ihre Anwendung im gesamten Fruchtfolgeverlauf) flächenbezogen gefördert, nicht mehr jedoch die Mulchsaat zu einzelnen Fruchtarten (SMUL 2007). Weitere Informationen zum ELER-Programm finden sich im Internet unter <http://www.sachsen.de/de/wu/foerderfibel> sowie unter http://www.smul.sachsen.de/de/wu/aktuell/foerderung/5_11.htm.

Darüber hinaus lässt sich ein kurzer Blick auf die überregionalen Entwicklungstendenzen werfen. Hier ist als wichtiger Faktor die GAP-Reform 2003 und Cross Compliance zu nennen. In diesem Kontext erfolgt eine Entkopplung der Direktzahlungen von der Produktion als auch eine Kopplung der Zahlungen an gewisse ökologische Mindeststandards im Rahmen der Cross Compliance. Dies determiniert eine Förderung insofern, als nur Maßnahmen, die über die Mindeststandards Cross Compliance und gfP hinausgehen, förderfähig sind. Eine Erhöhung der Cross Compliance-Standards verdrängt ggf. also Agrarumweltprogramme, welche sich nur knapp oberhalb der bisherigen Standards befinden. Dies ist nicht negativ, weil Agrarumweltprogramme dazu dienen sollten, deutliche Umweltverbesserungen herbeizuführen, nicht aber, nahe den gesetzlichen Standards befindliches Verhalten zu subventionieren. Kritisch ist anzumerken, dass Cross Compliance nur für Flächen von Landwirten Gültigkeit besitzt, welche Direktzahlungen beziehen. Sollte in Zukunft der Direktzahlungssatz im Rahmen der EU-Agrarpolitik signifikant sinken, so entfällt ggf. der ökonomische Anreiz, (geringe) Direktzahlungen zu beziehen und in diesem Rahmen verpflichtend Cross Compliance einhalten zu müssen (vgl. SRU, 2004). Weiterhin bieten Auflagen im Rahmen der Cross Compliance keine dynamische Effizienz, d. h. keinen Innovationsanreiz über das Ziel (d. h. die Auflage) hinaus, weil eine einfache Einhaltung der Standards den Erhalt der Direktzahlung garantiert. Verhalten darüber hinaus wird nicht zusätzlich finanziell honoriert. Agrarumweltprogramme können dies aber bei effizienter Ausgestaltung ermöglichen, weil sie grundsätzlich nur Leistungen fördern, welche über die Mindeststandards der gfP und Cross Compliance deutlich hinausgehen. Sie bieten bei effizienter Ausgestaltung somit einen Innovationsanreiz.

Außerdem wirkt die Entkopplung der Direktzahlungen für Sachsen in der Weise, dass in Zukunft, zuzüglich zu betriebsindividuellen Beträgen (18,3 Mio. € Tier- (2000 - 2002) und 54,5 Mio. € Milchprämien (2005)), Flächenprämien (244,7 Mio. €) für vorhandene, aktivierte (d. h. beantragte) Acker- und Grünlandflächen der Landwirte gezahlt werden. Die Zahlungen liegen bisher für Grünland weit unter den Zahlungen für Ackerland. In Sachsen liegt die Flächenprämie bei 308 €/ha für Ackerland und 111 €/ha für Dauergrünland. Angestrebt wird ein stufenweiser Angleichungsprozess von 2010 - 2013 aller dieser Zahlungsansprüche bis am Ende ein regional einheitlicher Prämienbetrag von 349 €/ha bis 2013 umgesetzt wird. Dies impliziert, dass durch die Direktzahlungen das Verhältnis derzeit nicht zu Gunsten des Grünlandes steht. Bis jetzt ist davon auszugehen, dass der Grünlandanteil in etwa konstant bleiben wird, eine deutliche Steigerung insgesamt ist aber kaum zu erwarten (vgl. HOLST, 2003; FAL, 2005). Als wesentlich anzumerken ist noch, dass Agrarumweltprogramme nun auch für Nichtlandwirte geöffnet sind (vgl. GÜTHLER und OPPERMAN 2005). Zurzeit werden überregional noch weitere, allgemeine Verbesserungen der Förderstruktur und der Förderungsarten diskutiert. Diese Punkte werden später aufgegriffen.

8.2.2.3 Bewertung der Fördersituation

Die Bewertung der Förderung der einzelnen Maßnahmen erfolgt zum einen auf Basis der ermittelten volkswirtschaftlichen, betriebswirtschaftlichen und umweltökonomischen Informationen. Weiterhin werden Verteilungseffekte, statische (Kosteneffizienz) und dynamische (Innovationsanreiz)

Effizienz als auch ökologische bzw. hochwasserschutztechnische Treffsicherheit der Förderung herangezogen (vgl. ENDRES, 2000).

8.2.2.3.1 Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat

Im Freistaat Sachsen wird die Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung im Rahmen des Agrarumweltprogramms „Umweltgerechte Landwirtschaft (UL)“ gezielt gefördert. Die Förderung beträgt im Frühjahr/Herbst derzeit je 42 €/ha für die Durchführung konservierender Bodenbearbeitung mit Mulchsaat. Unter Zugrundelegung der geförderten Fläche aus dem Programm UL liegt der Anwendungsumfang der konservierenden Bodenbearbeitung bei über 30 % der gesamten Ackerfläche Sachsens. Unter Berücksichtigung der nicht vom Förderprogramm erfassten konservierend bewirtschafteten Fläche (d. h. Landwirte, welche ohne Inanspruchnahme der Förderung konservierend wirtschaften) liegt der Anwendungsumfang jedoch deutlich höher bei ca. 50 % der gesamten Ackerfläche Sachsens (vgl. NITZSCHE und ZIMMERLING, 2004). Das Förderprogramm Umweltgerechter Ackerbau vergab Zuwendungen auf 71 % der Fläche des Ackerlandes Sachsens und wies damit 508 641 ha aus. Die Fläche der geförderten Mulchsaat betrug 236 343 ha und entsprach damit 46 % der einbezogenen Fläche. Die gesamten Zahlungen des Teilprogrammes Umweltgerechte Landwirtschaft entsprachen 37,301 Mio. €. (vgl. SMUL, 2005d)

Die beiden Verfahren weisen im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung mit Pflug (ohne Inanspruchnahme der Fördermittel der UL) eine hohe Kosteneffizienz auf. Dies begründet sich darin, dass konservierende Verfahren bei signifikanter kurz- als auch langfristiger Verbesserung von Umweltaspekten (Erosion, PSM-Abschwemmung etc.) und Hochwasserschutzaspekten (größeres Speicherpotenzial der Fläche für Niederschlag, geringerer Oberflächenabfluss) und tendenziell konstanten Erträgen auf der Ackerfläche deutliche Kosteneinsparungen für den Landwirt (kein Vorhalten eines Pfluges, geringere Arbeitszeiten) und die Volkswirtschaft (z. B. geringere Offsite-Kosten) bewirken (vgl. eigene Ausarbeitungen über die konservierenden Verfahren in diesem Bericht und Befragung landwirtschaftlicher Referenzbetriebe). Hierfür muss er nicht zwingend Spezialmaschinen (z. B. für Direktsaat) vorhalten, weil er diese bei Bedarf bei Anbietern wie Maschinenringen temporär leihen kann. Somit liegen No Regret-Maßnahmen vor, weil der effizient wirtschaftende Landwirt sich bei Einführung der konservierenden Verfahren i. d. R. besser stellt.

Eine finanzielle Förderung durch das Programm UL ist daher nicht zu befürworten, weil jeder Landwirt wegen der Möglichkeit der ökonomisch attraktiven innerbetrieblichen Kostensenkung und stabilen Erträgen (und damit Erlösen) bei ausreichender Information von selbst auch ohne eine Förderung durch das Programm UL die Produktion umstellen müsste. (Laut der Expertenbefragung bei den sächsischen Referenzbetrieben im Anhang bietet sich dies bei anstehenden Ersatzinvestitionen an, weil die Umstellung dann keine oder nur geringe Maschinenanschaffungskosten verursacht). Somit ist es nicht notwendig, zusätzliche Finanzmittel durch das Förderprogramm UL an die Landwirte abzugeben, um sie zur Umstellung auf konservierende Verfahren zu bewegen.

Die derzeitige Förderung stellt außerdem eine Fehlverteilung der Finanzmittel dar, weil die Fördermittel verstärkt in Minderertragsregionen fließen (vgl. (DLG)/WWF 2002). Landwirte, die auf diesen Minderertragsflächen aufgrund wenig ertragreicher Bodenverhältnisse für den Ackerbau als Alternativmöglichkeit z. B. auf eine Grünlandwirtschaft oder eine Stilllegung umstellen würden, erhalten durch die Fördermittel einen finanziellen Anreiz, dies nicht zu tun, entgegen der sonst zu treffenden betriebswirtschaftlichen Entscheidung. Eine positive Umweltwirkung z. B. der Erstellung einer Grünlandfläche oder einer Stilllegung kommt folglich nicht zum tragen. Die Fördermittel gleichen die finanziellen Nachteile der weniger ertragreichen Fläche aus und verhindern damit eine volkswirtschaftlich (und als Teilmenge auch umweltökonomisch) wünschenswerte Umstellung der Fläche aufgrund der damit verbundenen Nutzen (z. B. Hochwasserschutzwirkung, naturschutzfachliche Vorteile). In dieser Weise falsch verwendete finanzielle Mittel fehlen in anderen Bereichen wie z. B. im Bereich Naturschutz oder der Hochwasservorsorge und bewirken außerdem eine Überproduktion des Gutes über die marktliche Nachfrage hinaus. In der EU mit ihrer signifikanten Überproduktion landwirtschaftlicher Produkte ist dies eine negative Wirkung. Unternehmen, die kostenineffizient wirtschaften und daher vom Markt verschwinden müssten, bleiben weiterhin am Markt, d. h. auch eine dynamische Effizienz ist insofern nicht gegeben, als dass auf kosteneffizientere Verfahren umgestellt würde. Dies zeigt sich in einer regional sehr differenzierten Inanspruchnahme der Mittel: In Ungunstregeonen werden die Programme stark, in Gunstregeonen wie Bördelandschaften dagegen weniger genutzt (vgl. OSTERBURG/PLANKL 2002; (DLG)/WWF 2002). Für Sachsen war dies beim Markfruchtbau in der verstärkten Inanspruchnahme der Förderprogramme (Grund-, Zusatzförderung I + II) in den (weniger rentablen) Wirtschaftsgebieten I (Sächsisches Heidegebiet, Riesa-Torgauer-Elbtal) und III (Mittelsächsisches Lössgebiet) bemerkbar (vgl. SMUL 2005a: 53).

Selbst als Anschubfinanzierung weist die derzeitige Förderung inakzeptable Schwächen auf, weil sie u. a. nicht auf regionale Unterschiede eingeht. Das Argument, mögliche Ertragseinbußen müssten durch den Staat ausgeglichen werden, ist falsch, weil jeder Landwirt als Unternehmer eine Kostenkalkulation durchführen muss. Die möglichen Erlöseinbußen stellt er dabei seinen Kosteneinsparungen gegenüber. Auf Grundlage dieser Überlegung trifft er die Entscheidung für eine Umstellung, wenn seine zusätzlichen Kosten (Ertragseinbußen, Maschinenanschaffung) durch die Kosteneinsparungen mindestens gedeckt werden. Weil die Kosteneinsparungen über die gesamte Bewirtschaftungsdauer (z. B. 25 Jahre) anfallen, die z. B. Ertragseinbußen aber max. fünf Jahre betragen (und ein Maschinenneukauf über AfP auch gefördert wird), ist die Investition i.d.R. sinnvoll. Die Direktsaat weist höheren volkswirtschaftlichen und betrieblichen Nutzen auf, dennoch wird diese Maßnahme aber genauso stark wie die konservierende Bodenbearbeitung gefördert. Weiterhin steigen die Kosteneinsparungen mit steigender Erfahrung in den Jahren nach der Umstellung der Bewirtschaftung. Weil die Förderung immer gleich hoch ist, ist hier eine Schwäche zu sehen, sie müsste zumindestens degressiv ausgestaltet sein. Darüber hinaus ist die konservierende Bodenbearbeitung als gute fachliche Praxis zu sehen und somit nicht förderfähig. Aus diesem Grund wird die Mulchsaat in vielen Bundesländern nicht gefördert, im Gegensatz zu Sachsen, weil die Abgrenzung der guten fachlichen Praxis uneinheitlich ist. (vgl. OSTERBURG/PLANKL 2002) Mögli-

cherweise wurden aus diesem Grund im Jahr 1999 70 % der gesamten Fördermittel gemäß VO (EWG) 2078/92 in Baden-Württemberg, Bayern und Sachsen ausgegeben.

8.2.2.3.2 Dauergrünland und Flächenstilllegung

Interessant im Rahmen des Hochwasser- und Naturschutzes ist (a) die Extensivierung von vorhandenem und (b) die Schaffung von neuem Grünland. In Situation (a) bietet das Programm UL zum einen den Programmteil KULAP (extensive Grünlandwirtschaft) mit Grund- (reduzierter Mitteleinsatz 51 €/ha) und Zusatzförderung (Verzicht auf bestimmte Dünger 51 €/ha als auch extensive Wiesen/Weidewirtschaft 102 €/ha). Zusätzlich ist noch die ökologische Grünlandwirtschaft (244 €/ha) möglich. Für Situation (b) existiert Programmteil E: Naturschutz und Erhalt der Kulturlandschaft (NAK), dieser bietet für die Umwandlung von Ackerland in naturschutzgerecht bewirtschaftetes Grünland 360 €/ha (Ackerzahl bis 30), bei weiteren Bodenpunkten + 5 €/ha bis max. 450 €/ha. Eine langfristige Stilllegung dagegen erbringt maximal 630 €/ha. Die naturschutzgerechte Beweidung wird mit 360 €/ha gefördert. Die naturschutzgerechte Wiesennutzung wird je nach Typ mit 360 – 450 €/ha honoriert.

KULAP: In Sachsen wurden im Jahr 2004 mit 2 724 Antragstellern ca. 95 028 ha über die RL 73/2000 (extensive Grünlandwirtschaft) sowie RL 73/94 und RL 73/99 (Umwandlung von Acker in extensives Grünland sowie 20-jährige Stilllegung) gefördert, davon waren 94 848 ha Grünland. Die Förderung umfasste dabei die Grund- und Zusatzförderung und die naturschutzgerechte Bewirtschaftungsweise (vgl. SMUL, 2005d). Die Zahlungen durch das Teilprogramm KULAP betragen im Jahr 2004 insgesamt 12,147 Mio. € (ebenda).

Die extensive Weide wurde seit 1993 gut angenommen und wies im Jahr 2004 1 600 Zahlungsempfänger und eine Fläche von 33 643 ha auf (ca. 35 % der KULAP-Fläche). Dies entspricht ca. 20 % der Gesamtgrünlandfläche Sachsens. Die oben erwähnte mangelhafte Allokation zeigt sich in der Inanspruchnahme der Förderung „extensive Weide“: Zu den Standorten mit schlechter und mittlerer Ertragsmöglichkeit (z. B. Erzgebirgsvorland/Vogtland/Elsterbergland mit 28 % und Erzgebirgskamm mit 22 % der „extensive Weide“-Fördermittel) fließen mehr Gelder als in die Hohertragsstandorte (z. B. Lösshügelland mit 15 % der „extensive Weide“-Fördermittel) (vgl. SMUL, 2005a: 86). Die Förderung für die extensive Wiese verbuchte 903 Landwirte mit 7 973 ha Fläche. Der Agrarbericht weist für die Umwandlung von Ackerland in Grünland (inklusive „Umwandlung von Ackerland in Grünland“ (10 Jahre) und „20 jährige Stilllegung für Zwecke der Biotopentwicklung“) 145 Empfänger von Zahlungen aus, dies entspricht einer Fläche von 863 ha. Die 20-jährige Stilllegung (inklusive „Umwandlung von Ackerland in Grünland“ (10 Jahre) und „20-jährige Stilllegung für Zwecke der Biotopentwicklung“) war mit 34 Zuwendungsempfängern und 180 ha vertreten. Es wird ersichtlich, dass die Umwandlung von Acker in Grünland sowie die langjährige, freiwillige Flächenstilllegung kaum angenommen wurden. Mögliche Probleme neben einer zu geringen Förderung und der Cross Compliance sind „ein nicht kalkulierbares Ertragsrisiko“ bei der Umwandlung von Acker zu extensivem Grünland für den Landwirt (vgl. SMUL, 2005a: 94). Zu konstatieren ist, dass

die jeweils einfach umsetzbaren Förderstufen (reduzierter Mitteleinsatz, Verzicht auf chemisch-synthetische N-Düngemittel) gut angenommen wurden. Maßnahmen, die aber deutlich über die gute fachliche Praxis hinausgehen, wurden wenig genutzt. (vgl. SMUL, 2005a; GÜTHLER und OPPERMAN, 2005). Die Grundförderung war mit 57 % die bei KULAP am häufigsten in Anspruch genommene Maßnahme (SMUL 2005a: 158). Hier ist wesentlicher Mangel für den Natur-, aber auch Hochwasserschutz zu sehen, da keine wesentlichen Änderungen über die gfP hinaus erfolgen. Die ökologische Treffsicherheit ist situativ zu sehen und von vielen Faktoren abhängig, jedoch deutlich besser als beim Ackerbau. Dies begründet sich u. a. durch die höhere Artenanzahl in der Flora und Fauna (vgl. die naturschutzfachlichen Ausarbeitungen in diesem Bericht). Die Hochwasserwirkung ist bei beiden Verfahren i.d.R. hoch, wenn auch geringer als bei (optimalem) Wald (vgl. detailliert SMUL, 2005a: 72-ff).

NAK: Die obigen Kernergebnisse treffen in der Tendenz auch auf die Inanspruchnahme des Programmteils NAK zu. Die Umwandlungsquote von Ackerland in naturschutzgerecht bewirtschaftetes Grünland zeigte sich nur in 680 ha, die Stilllegung zur Biotopentwicklung auf Ackerflächen in 84 ha, auf Grünlandflächen in 108 ha. Die naturschutzgerechte Wiesennutzung (8 473 ha) und die naturschutzgerechte Beweidung (10 552 ha) dagegen wurden dagegen stärker in Anspruch genommen. Insgesamt wurden 12,447 Mio. € Fördermittel ausgegeben für eine Fläche von 33 714 ha, wobei außer oben genannten Posten hiermit auch Teichpflege i.w.S. (7 880 ha), Hüteschafhaltung, Acker- und Zwischenstreifen, Streuobstwiesen u.v.m. honoriert wurden (vgl. SMUL, 2005d: 31f).

Grünlandstandorte sind z.Z. grundsätzlich gefährdet (GÜTHLER und OPPERMAN 2005), weil sie im Gegensatz zu einer intensiven Ackernutzung meist weniger rentabel sind, dies impliziert in Sachsen schon die niedrigere Flächenprämie von 111 €/ha. In Sachsen wurden bei untersuchten Referenzbetrieben (ohne Ökolandbau) beim Marktfruchtbau 2004 (Betriebe ohne Förderung) im Durchschnitt 1 035 €/ha Gesamtdeckungsbeitrag erwirtschaftet, der Durchschnitt über alle untersuchten Betriebe (auch Betriebe mit Grund- und Zusatzförderung; ohne Ökolandbau) lag bei 890 €/ha (SMUL, 2005a: 53f.). Diese Gesamtdeckungsbeiträge lassen sich mit einer extensiven Grünlandnutzung nicht erwirtschaften, auch nicht bei Inanspruchnahme einer Förderung über das Programm KULAP in Sachsen. (SMUL, 2005a: 158). Dies ist der Grund dafür, dass auf Hohertragsstandorten wie dem Lösshügelland nur 10,6 % Grünlandanteil existieren (SMUL, 1999: 16) und dort nur ca. 15 % der extensiven Weidefläche des Programms KULAP vorliegen (SMUL, 2005a: 86). Besonders vorhandene, marginale Grünlandstandorte, die nicht intensivierbar sind, sind akut gefährdet, weil u. a. der Bestand an Raufutter fressenden Nutztieren zurückgeht. Weiterhin weist extensiv genutztes Grünland den Nachteil auf, dass der Energiegehalt des Heus oft zu niedrig ist, die Milchleistung der Kühe sinkt drastisch. Die Folge ist ein wirtschaftlicher Verlust, der auch durch Ausgleichsgelder nicht kompensierbar ist (vgl. HOLST, 2003; SMUL, 2005a).

Weil die Grünlandschaffung trotz Agrarumweltprogrammen bei Hohertragsackerstandorten weniger rentabel ist, impliziert dies keine Zunahme des Grünlandes in diesen Regionen. Dies bedeutet,

dass sich die Grünlandneuschaffung als auch die Flächenstilllegung z.Z. nur auf Marginalstandorte konzentrieren werden (mangelhafte Allokationswirkung), welche für den Ackerbau ohnehin unattraktiv sind. Damit konkurrieren Grünland und Flächenstilllegung sehr wahrscheinlich um die gleichen Flächen. Sollen aufgrund (in der Höhe nicht genau bestimmbarer) volkswirtschaftlicher Nutzen (Hochwasserschutz, Naturschutz) der Grünlande und Flächenstilllegungen verstärkte Implementierungen dieser Maßnahmen in den Hohertragsregionen realisiert werden, so wäre eine angepasste Förderung für die Hohertragsgebiete Ziel führend.

8.2.2.3.3 Aufforstung und Feldgehölze

Eine Aufforstung ist ohne Förderung meist defizitär, wenn nicht, so sind die Erträge eher gering im Vergleich zum intensiven Ackerbau. Weiterhin fällt die landwirtschaftliche Betriebsprämie als auch die Flächenprämie bei der Aufforstung nicht mehr an. Außerdem stellt sich ein ökonomischer Dauerschaden ein, da die Fläche kaum rückwandelbar ist. Dies stellt keinen ökonomischen Anreiz zur Umsetzung der Maßnahme dar (mangelhafte Kosteneffizienz). Dem entgegenstehen erhebliche, in ihrer Höhe nicht eindeutig bestimmbare positive externe Effekte (z. B. Hochwasserschutz, Erosionsminderung, Klimagasreduktion), d. h. eine hohe ökologische Treffsicherheit. Ohne forstpolitische Eingriffe können diese positiven Umwelt- und Hochwasserschutzleistungen wahrscheinlich nicht bereitgestellt werden, was (bei einer politischen Entscheidung für Aufforstungen) Eingriffe in marktliche Allokationsprozesse möglicherweise rechtfertigt (vgl. UBA, 2003: 129). Ökonomisch lässt sich dies nicht eindeutig beantworten. Die Förderprogramme stellen daher erhebliche finanzielle Mittel zur Verfügung, um die Maßnahme verstärkt implementieren zu lassen. Die Akzeptanz der Maßnahme ist aber weiterhin gering, weil die Flächenknappheit der Landwirte (Siedlungsbau etc. verdrängen landwirtschaftliche Flächen in zunehmendem Maße) als auch die ggf. eingeschränkte Zahlungsbereitschaft des Freistaates (Förderung nach Kassenlage) abschreckend bzw. Vertrauens mindernd wirken.

Weiterhin scheint die bisherige Förderhöhe zu gering, um einen deutlichen ökonomischen Anreiz für die Aufforstung zu schaffen (siehe Tabelle 5, Anhang Ökonomie), zumindestens, wenn man die Erlöse durch Holzeinschlag ausklammert, was allerdings ökonomisch nicht statthaft ist, weil der (gewachsene) Wert des Holzes mit einbezogen werden muss. Die einzelwirtschaftliche Anreizwirkung in der Tabelle hängt also stark vom Verkaufswert der vorhandenen Holzressourcen ab: Kann der Holzbestandwert zusammen mit den anderen Nutzen die Kostenseite kompensieren (siehe Tabelle 5, Anhang Ökonomie), so besteht ein einzelwirtschaftlicher Anreiz zur Aufforstung. Die Beispielrechnung mit den diskontierten Kosten und Nutzen zeigt deutlich, dass unter den gemessenen Kosten- und Nutzengrößen betriebs- als auch volkswirtschaftlich kein Anreiz zur Aufforstung besteht.

Es ist anzumerken, dass *„das Fehlen einer geeigneten Datenbasis... von verschiedenen Autoren als wesentliches Hindernis für die ökonomische Bewertung forstlicher Förderprogramme in Deutschland, insbesondere der Aufforstungsförderung“* eine genaue Berechnung unmöglich macht

(SCHUMANN und WURZ, 2006: 57). Lediglich eine Bewertung unter dem Setzen einer Reihe von Annahmen, für die es keine Daten vorhanden sind, wäre möglich (ebenda). Eine verstärkte Förderung ist aufgrund der angespannten Haushaltslage des Bundes nicht zu erwarten (vgl. UBA, 2003: 129f). Ökonomisch lässt sich daher eine sichere Aussage über ein pro oder contra zur Förderung nicht treffen, u. a. weil viele der volkswirtschaftlichen Nutzen (Grundwasserreinigungsfunktion, Lebensraum, ästhetischer Wert) der Wälder nicht genau messbar sind, welche ggf. eine Förderung rechtfertigen könnten.

Feldgehölze sind meist zu klein, um über eine Aufforstung förderbar zu sein. Dies begründet sich in der Mindestgröße für eine förderfähige Fläche im Kontext einer Aufforstung, welche mindestens 1 ha groß sein muss. Sie sind somit völlig unwirtschaftlich, weil sie hohe Opportunitätskosten verursachen. Die lokale ökologische als auch die Hochwasser mindernde Wirkung sind i.d.R. hoch. Über die Förderung von Feldgehölzen lagen zum Zeitpunkt der Berichtserstellung keine Daten vor, es ist aber anzunehmen, dass über die RL 55 (über Biotope und deren Vernetzung) eine teilweise Förderung nicht auszuschließen ist, dies wären 2004 maximal 0,12 Mio. € gewesen (vgl. SMUL, 2005d: 92). Auch für Feldgehölze ist eine Aussage über die Sinnhaftigkeit einer Förderung schwierig, weil der volkswirtschaftliche Nutzen, der eine Unterstützung rechtfertigen könnte, nicht genau messbar ist.

8.2.2.3.4 Vegetationsstreifen und Abflussmulden

Vegetationsstreifen und Mulden weisen den Nachteil auf, dass sie betriebswirtschaftlich unattraktiv sind und die zu bewirtschaftende Fläche verringern (mangelnde Kosteneffizienz). Die Fördermöglichkeiten bezuschussen die Ausgaben der Pflanzung und unterstützen teilweise die Pflegemaßnahmen. Teilweise ist es zwar möglich, über das Teilprogramm NAK Zwischen- und Ackerrandstreifen zu fördern, dies wurde aber kaum praktiziert. 2004 waren es für die Anlage von Ackerrandstreifen (inklusive Verringerung der Aussaatstärke) 109 ha, für Zwischenstreifen 218 ha (vgl. SMUL, 2005d). Über die RL 55 (ökologische Landschaftsgestaltung) wurden schwerpunktmäßig die Neuanlage, Verjüngung oder Ergänzung von Pflanzungen zum Erosionsschutz (u. a. Hecken) mit ca. 700 Tsd. € gefördert. Gewässerrandstreifen und Schutzpflanzungen wurden marginal mit ca. 0,044 Mio. € über wasserwirtschaftliche und kulturbautechnische Maßnahmen sowie ländlichen Wegebau gefördert (ebenda). Im Vergleich mit der landwirtschaftlichen Gesamtfläche ist die geförderte Vegetationsstreifenfläche folglich sehr gering. Das UBA schlägt vor, ein bundesweites Ackerrandstreifenprogramm aufzulegen, da diese Maßnahme in Kombination mit anderen Maßnahmen wie z. B. Feldgehölzen hohe positive Effekte (Stabilisierung von Agrarökosystemen, erhöhte Biodiversität, Vernetzung der Landschaft) aufweist (UBA, 2003: 65). Anmerkung: Durch die geringe Mindestgröße der Flächenstilllegungen (0,1 ha, Mindestbreite 10 m) ist es möglich, die Flächenstilllegung verstärkt als Randstreifen und als Pufferzonen zu nutzen (vgl. FAL, 2003: 33). Ökonomisch stellt sich, wie bei Aufforstungen und Grünland, auch hier die Frage nach der unbekanntenen Höhe der volkswirtschaftlichen Nutzen, die eine Förderung rechtfertigen könnten.

8.2.2.3.5 Konturnutzung und Schlagverkleinerung

Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lagen hierzu keine Daten vor.

8.2.2.4 Vorschläge für eine Umstrukturierung der Förderung in Sachsen

Eingangs sei nochmals darauf hingewiesen, dass ökonomisch für den Um- oder Aufbau von Förderprogrammen eine Förderung nur dann gewährt werden darf, wenn positive Externalitäten durch sie generiert werden. Eine Förderung ist unmöglich, wenn No-Regret-Maßnahmen vorliegen. Für die bestehenden Strukturen der existierenden Förderprogramme (auch wenn diese Programme ökonomisch nicht zwingend begründbar sind) soll dennoch Kritik geäußert werden. Dies geschieht unter der Einschränkung, dass die Aussage über die genaue Ausprägung positiver Externalitäten wegen ihrer mangelhaften Erfassbarkeit nicht präzise erbracht werden kann.

Zuerst sollen allgemeine, in der Diskussion stehende Vorschläge aufgeführt werden. Nach dieser allgemeingültigen Kritik erfolgt eine speziell auf die Verfahren zu geschnittene Bewertung. Wilhelm kritisiert die in vielen Programmen dominante Handlungsorientierung (vgl. WILHELM, 2000). Sie weist keine dynamische Effizienz auf, d. h. der Landwirt erhält keinen Anreiz weitere, über das Programm hinausgehende Bestrebungen für Umwelt und Hochwasserschutz zu erbringen als über das Programm hinaus. Dem entgegen steht in vielen Fällen die Möglichkeit einer **Ergebnisorientierung**, d. h. nicht die Handlungsweise wird dem Landwirt vorgeschrieben, sondern sein Ergebnis honoriert. Beispielsweise kann eine Honorierung von ökologischen Gütern, repräsentiert durch verschiedene Zeigerarten (naturschutzfachlich besonders erwünschte Pflanzen) auf einem Grünland vereinbart werden. Der Landwirt kann, je nach Möglichkeiten seines Standortes, abwägen, ob er die Produktion ökologischer Güter betriebswirtschaftlich effizient vornehmen kann oder nicht. Dadurch ergibt sich u. a. ein unternehmerischer Anreiz, eine Identifikation mit der Maßnahme und eine höhere Mitteleffizienz (vgl. GÜTHLER und OPPERMANN, 2005; FRIEDER et al., 2004).

Zur Diskussion zu stellen wäre möglicherweise auch eine Honorierung nicht nur der verschiedenen gewünschten Zeigerarten (Qualität), sondern auch deren Menge (Quantität). Sollte die Honorierung an qualitative und quantitative Kriterien gekoppelt werden, so ergäbe sich unter Umständen ein dynamischer Anreiz für die Produktion (im Sinne von „je mehr Zeigerpflanzen/ha, desto mehr Förderung“). Dieser Ansatz wäre aber genaustens auf naturschutzfachliche und ökonomische Wirkungen zu prüfen und soll hier nur als Diskussionsansatz angeführt werden. Ein interessanter Ansatz (Fuhrberger Feld bei Hannover) findet sich bei BATHKE et al. (2003) oder BERTKE et al. (2003). Bewährt hat sich eine handlungsorientierte Grundförderung für eine Extensivbewirtschaftung mit einer zusätzlichen Erfolgsprämie (GÜTHLER und OPPERMANN, 2005). Der Versuch, von einer Handlungsorientierung zu einer Ergebnishonorierung überzugehen, wird von vielen Autoren als zunächst nicht implementierbar angesehen. Dies begründet sich u. a. auf dem nachfolgenden, erhöhten Kontrollaufwand des Staates der Ergebnisorientierung und der noch nicht geklärten Frage der Erfolgsindikatoren (vgl. DLG und WWF, 2002). Dies wäre gerade unter Gesichtspunkten des

Hochwasserschutzes und der dort möglichen Indikatoren ein neues Forschungsfeld. Diesem Kritikpunkt ist entgegenzuhalten, dass auch bei anderen staatlichen Vorschriften wie handlungsorientierten Förderrichtlinien eine Kontrolle notwendig ist und ein Kontrolldefizit vorherrscht (z. B. werden bei Überprüfung der Einhaltung der Cross Compliance Standards nur 1 % der Landwirte kontrolliert). Das Programm MEKA in Baden-Württemberg hat gezeigt, dass eine erfolgsorientierte Honorierung möglich ist. Andere Staaten wie z. B. England und Schottland weisen eine ganz andere Strategieausrichtung auf, z. B. eine Fokussierung auf Biodiversität (biodiversity action plan), statt einer Konzentration auf bestimmte Handlungsvorschriften (GÜTHLER und OPPERMAN, 2005).

Die mangelnde **Ausrichtung** der Agrarumweltprogramme an den regionalen Standortfaktoren und an der betriebswirtschaftlichen Situation der Einzelbetriebe zeigt sich in der stärkeren Inanspruchnahme der Förderung in Ungunstregionen. Dort liegen die Ackerbauerträge z. T. sehr niedrig, so dass z. B. ein Grünland mit Förderung im Gegensatz zum konventionellen Ackerbau attraktiv erscheinen kann. „Betriebe mit ungünstigen Standortbedingungen nehmen je ha LF mehr UL-Prämien in Anspruch“ konstatiert dazu das SMUL (SMUL, 2005a: 98). Die mangelnde Ausrichtung der Förderung an den lokalen Ertragsmöglichkeiten bewirkt, dass in fruchtbaren Regionen Maßnahmen wie Grünlandschaffung unattraktiv werden, weil sich mit Ackerbau größere Gewinne erwirtschaften lassen. Ungunstregionen ohne starke Ertragsmöglichkeiten nehmen dann Förderprogramme in Anspruch, um ein höheres Einkommensniveau zu erlangen. Die Folge sind ertragsarme Regionen mit stärker genutzten Förderprogrammen und ertragsstarke Standorte mit einer naturschutzfachlich verarmten, ausgeräumten Landwirtschaft. Oftmals bestehen in Ungunstregionen zusätzliche Konflikte, z. B. zwischen gewünschter, geförderter Aufforstung und Grünlandumbruch. Naturschutzfachlich wertvolles aber ertragsarmes Grünland soll mittels Förderung nach dem Willen der Landwirte aufgeforstet und mittels der Förderprogramme zur Einkommenserhöhung benutzt werden, was ökologisch aber kontraproduktiv sein kann. (vgl. GROTH und FREESE, 2006; FAL, 2001, DLG und WWF, 2002).

Eine stärkere Ausrichtung von Förderprogrammen an Naturräumen und an ökonomisch unterteilbaren Regionen (z. B. Agrarstrukturgebiete Sachsens) wäre für die Zukunft (Stichwort Ausweisung von Gebietskulissen). notwendig und sinnvoll und ließe sich gut mit Ausschreibungsverfahren koppeln. Ausschreibungsverfahren könnten nämlich genau in den Regionen angeboten werden, wo ein Mangel an bestimmten naturschutzfachlichen Strukturen (z. B. Grünland, Vegetationsstreifen, Wald) vorherrscht, wie z. B. in ausgeräumten Landschaften (eine Möglichkeit wäre das Lösshügelland). Dies könnte bei entsprechender Ausgestaltung die ökologische Treffsicherheit erhöhen. Weiterhin wird bei einer einheitlichen Regionalprämie die Kostensituation des Einzelbetriebs nicht betrachtet. Ausschreibungen dagegen ermöglichen dem Landwirt eine Entscheidung über die Teilnahme an einem Projekt (z. B. Produktion ökologischer Güter) anhand seiner eigenen Kostenstruktur (vgl. GROTH und FREESE, 2006). Ein Grund für die bisherige Etablierung einer eher undifferenzierten Förderpolitik ist die einfache verwaltungstechnische Abwicklung. Flächenspezifische

sche Maßnahmen haben den Ruf, in der Abwicklung komplizierter zu sein und werden daher von der Administration gemieden (GÜTHLER und OPPERMANN, 2005).

Ein **finanzieller Aus- bzw. Umbau** der Förderprogramme wäre zu diskutieren, weil man hier starke Synergien des volkswirtschaftlichen Nutzens schaffen könnte. Zum einen ließe sich der Naturschutz stärken, zum anderen gleichzeitig auch der vorbeugende Hochwasserschutz verbessern. Weil Vorsorge sehr wahrscheinlich kosteneffizienter als die Nachsorge im Hochwasserfall (Feuerwehrprinzip) sein dürfte (diese These ergibt sich z. B. aus dem Auftreten irreversibler Schäden durch ein Hochwasser, wie dem Untergang von einzigartigen Kunstwerken (Beispiel: überschwemmte Semperoper 2002), dem Verlust öffentlicher Gebäude z. B. Bibliotheken (Beispiel: überschwemmtes Sächsisches Staatsarchiv 2002), wäre dies zu überdenken. Es muss aber wieder darauf hingewiesen werden, dass der Ausbau bzw. die Existenz einer Förderung davon abhängen, ob (bisher im Kalkül nicht mit einbezogene) volkswirtschaftlicher Nutzen dies rechtfertigt.

GÜTHLER und OPPERMANN (2005) schlagen beispielsweise vor, die EU-konfinanzierungsfähigen Höchstsätze bei Grünland auf 1 000 €/ha anzuheben (s. u.). Bedenkt man, dass auf landwirtschaftlicher Nutzfläche 332 €/ha in der EU aus der ersten Säule (Marktpolitik) ausgezahlt werden, denen lediglich 13,4 €/ha für Naturschutzmaßnahmen aus der zweiten Säule entgegenstehen, wird ersichtlich, dass zwar Finanzmittel vorhanden sind, ihre Aufteilung aber diskutabel bleibt: Der größte Teil der Finanzmittel wird für Maßnahmen verwendet, welche für den Arten- und Biotopschutz geringe Bedeutung haben und nur geringfügig anspruchsvoller sind als die gFP (ebenda). Ein weiterer Punkt sind Treueprämien (z. B. Wiesenbrüterschutz in Schleswig-Holstein) für langjährige Mitarbeiter in Naturschutzprogrammen. Dies ermöglicht es, Landwirte, die auf lange Frist an Agrarumweltprogrammen teilnehmen und ggf. damit andere Landwirte zur Nachahmung durch ihr gutes Beispiel animieren (opinion leader), zu belohnen (vgl. ebenda). Angemerkt werden muss, dass es unwahrscheinlich ist, zusätzliche Finanzmittel zu erhalten, d. h. es bleibt nur die Möglichkeit, die vorhandenen Mittel (sofern sie nicht gekürzt werden) umzuverteilen.

Ohne die **Partizipation** lokaler Akteure und deren Kompetenz vor Ort (Wasserwirtschaftler, Landwirte, Forstwirte, Jagdverbände und Umweltschutzverbände) wird Hochwasser- und Naturschutz nicht gelingen. Dazu gehört eine **verbesserte Informationspolitik durch kompetente Ansprechpartner** (z. B. über die Vorzüge einer Mulchsaat oder die ökonomischen Anreize von Heckenpflanzungen oder allgemeine Bildungsmaßnahmen im Bereich Umwelt etc.) (GÜTHLER und OPPERMANN, 2005). Das Image des Naturschutzes muss soweit verbessert werden, dass Landwirte nicht eine Beschneidung persönlicher Souveränität oder der wirtschaftlichen Ertragslage befürchten. Informationsarbeit muss aktiv vor Ort geleistet werden, hier scheint ein Mangel vorzuherrschen. Anders ist es kaum zu erklären, dass Mulchsaatverfahren in der Bundesrepublik noch nicht zur gängigen Praxis gehören. Dazu gehört auch eine Änderung der Unternehmenskultur der Landwirte („wir haben das seit 20 Jahren so gemacht“) hin zu einer Veränderungen gegenüber offenen Kultur (vgl. auch Holst, 2003; DLG und WWF, 2002; GÜTHLER und OPPERMANN, 2005). Positive Beispiele wie

das des sächsischen Bergwiesenwettbewerbs müssen darüber hinaus als gute Beispiele in die Öffentlichkeit getragen werden (GÜTHLER und OPPERMANN, 2005).

Die zu verändernden und finanziell zu verbessernden Förderprogramme sollten begleitet, bewertet und kritisiert werden hinsichtlich Zielerreichung und Mitteleinsatzeffizienz. Diese als Hilfestellung zu sehende **Evaluation** beugt Fehlern, die sich langjährig in die Praxis einschleichen können als auch Fehlentwicklungen vor und bezieht Veränderungen der Rahmenbedingungen in das Kalkül mit ein (vgl. GÜTHLER und OPPERMANN, 2005; auch DLG und WWF, 2002). Dies wird z. T. noch ungenügend umgesetzt.

Für eine erfolgreiche Förderung der Maßnahmen ist eine einfache, wenig bürokratische Antragstellung lebenswichtig. Auch die Kontrolle und die Vorschriften für Verfahren müssen einfacher und **flexibler** gestaltet werden. Ein Beispiel für einen zu starren Verwaltungs- und Kontrollmechanismus stellt nach Ansicht vieler Autoren z. B. InVeKoS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem; EU-Verordnungssystem zur Agrarpolitik) dar. Auch müsste die Möglichkeit der Flexibilisierung in Anreizstrukturen übertragen werden. Denkbar sind z. B. öffentliche Ausschreibungen für Maßnahmenimplementierungen (vgl. GROTH und FREESE, 2006; FAL, 2001; DLG und WWF, 2002; GÜTHLER und OPPERMANN, 2005).

Wichtig ist es zudem, zu beachten, dass die **Maßnahmenkombinationen** meist den höchsten ökologischen Nutzen stiften. Ackerrandstreifen allein können eine Vernetzung in stark ausgeräumten Landschaften nicht garantieren, in Kombination mit anderen Instrumenten wie z. B. Feldgehölzen ist eine höhere ökologische und hochwasserschutztechnische Wirkung möglich (vgl. UBA, 2003: 67). Daher ist zu überlegen, ob in der Förderung nicht ein Angebot von „bundles“, d. h. Maßnahmenkombinationen, besonders gefördert werden sollte. Ziel muss es weiterhin sein, Synergieeffekte zwischen dem reinen Hochwasserschutz sowie dem Umweltschutz und als Teilmenge davon, dem Naturschutz zu schaffen. Dies bietet die Möglichkeit, z. B. Maßnahmen für den vorbeugenden Hochwasserschutz über Agrarumweltprogramme zu fördern, oder sie möglicherweise ohne Förderung über betriebswirtschaftliche Deckungsbeitragsteigerungen (No-Regret-Fälle) zu generieren.

Wie bereits der SRU (2004) feststellt, handelt es sich bei **allen konservierenden Verfahren** um gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft im Sinne von § 17 BNATSchG, die nicht permanent gefördert werden kann. (vgl. auch BRAND-SASSEN 2004.) Die entgangenen Erträge in den Jahren der Umstellung und die Lernkosten sind nicht als wesentliches Hindernis zu sehen. Lediglich die Maschinenanschaffungskosten könnten abschrecken, weil u.U. ein hoher Betrag für Spezialtechnik anfallen kann, welcher ggf. über die normale Ersatzinvestition hinausgeht. Die Nettoinvestitionsquote liegt bei Ackerbaubetrieben mit 9 €/ha niedrig, 40 % des abnutzbaren Anlagevermögens (z. B. landwirtschaftliche Maschinen) sind veraltet. (vgl. SMUL 2005d). Um Maschinenneukauf und eine schnellere Umsetzung konservierender Verfahren zu fördern, kann aber das Agrarinvestitionsförderungsprogramm (AFP) genutzt werden. Ggf. böte eine Verbesserung der Förderung durch dieses

Programm und eine bessere Information der Landwirte darüber bessere Anknüpfungspunkte, als die bisherige Mulchsaatförderung.

Bei der **Brache** ergibt sich durch die Handelbarkeit der Flächenstilllegungsprämienrechte das Problem der Konzentration auf Grenzertragsstandorte und der Abwanderung aus intensiv genutzten Produktivstandorten, was ökologisch nicht sinnvoll ist (vgl. GÜTHLER und OPPERMANN, 2005). Hier könnten flexible Instrumente wie Ausschreibungen Verbesserungen herbeiführen. Für die Prämienzahlungen werden pro Jahr in der EU (zu 100 % aus dem Agrarhaushalt) etwa 1,6 Milliarden € gezahlt (vgl. DVL et al. 2003: 2). Die ursprünglich als Begrenzung der Überproduktion gestalteten Flächenstilllegungen weisen eine Fläche von 6,5 Millionen ha in der EU und über einer Million ha in Deutschland auf. Dieses immense Potenzial sollte für den Natur- und Hochwasserschutz und nicht nur für die Korrektur unerwünschter Agrarmarktergebnisse genutzt werden, besonders, weil in der Folge der Liberalisierung des Agrarmarktes diese Brachen möglicherweise in ferner Zukunft als Instrument der Produktionsbegrenzung vermindert werden (vgl. DVL et al., 2003; LANDESJAGDVERBAND HESSEN e.V., 2003a). Die hohen, bestehenden Kosten für die Volkswirtschaften der EU und ihrer Bürger durch diese Agrarmarktkorrektur sollten in Zukunft (und in Zeiten der Cross Compliance) neue Rechtfertigung erhalten, indem durch sie der signifikante Zusatznutzen des Natur- und Hochwasserschutzes erhalten und erschlossen wird. Dies könnte in Zukunft auch die Zusammenarbeit des Naturschutzes und der Landwirtschaft verbessern, wobei eine regionale Differenzierung der Ausgestaltung der Flächenstilllegung optimale ökologische Effekte ermöglicht (vgl. LANDESJAGDVERBAND HESSEN e.V., 2003b).

Vegetationsstreifen, Feldgehölze und Abflussmulden weisen oft das Problem auf, dass beim Vertragsnaturschutz die Erwerbsverluste auf Hohertragsstandorten durch die Förderung nicht ausgeglichen werden, weil die Ertragsmöglichkeiten die Prämien übersteigen können. Hier wäre prinzipiell ebenfalls eine Differenzierung der Prämien notwendig. Allerdings kann die Reduktion der Mindestbreite der vorgeschriebenen Stilllegungsfläche diese Maßnahmen zur Umsetzung bringen, indem Abflussmulden, Hecken etc. als Stilllegungsflächen genutzt werden. Als Beispiel für eine solche finanziell ausreichende Förderung und begleitende Informationspolitik kann z. B. das Blühstreifenprogramm in Wolfenbüttel angeführt werden, welches 600 bis 800 €/ha jährlich vergab und bis 2004 100 km Blühstreifen ausweisen konnte (GÜTHLER und OPPERMANN, 2005). Nach GÜTHLER und OPPERMANN sind auf intensiv genutzten Standorten Prämien über den Kofinanzierungssätzen von 600 €/ha erforderlich, um eine Umsetzung z. B. von Ackerrandstreifen zu ermöglichen. Weiterhin gibt es bis heute rechtliche Probleme in der Weise, dass bei Agrarumweltprogrammen auf Grünland Landschaftselemente wie Hecken, Gebüsche etc. von der Vertragsfläche abgezogen werden müssen, was naturschutzfachlich i.d.R. nicht zielführend ist. Nordrhein-Westfalen war das erste Bundesland, welches diese Regelung daher geändert hat. Außerdem wurden bisher Landschaftselemente wie z. B. Feldgehölze, Flachmulden oder Hecken nur ungenügend in die Agrarumweltprogramme mit einbezogen (ebenda).

Grünland leidet zurzeit noch unter der geringen, regionalen Flächenprämie und der langen Dauer bis zur Vereinheitlichung der Prämie (GÜTHLER und OPPERMAN, 2005). Die Höchstsätze für Förderung durch Agrarumweltprogramme pro ha liegen bei schwierig bewirtschaftbaren Flächen (Offenlandpflege) oft unter den Kosten der Bewirtschaftung und damit zu niedrig. Förderprogramme müssten daher die Differenz zwischen Ackerbau- und Grünlandprämie sowie entgangene Ertragsmöglichkeiten zwischen Ackerbau- und Grünlandverfahren und die Unterschiede in den Kosten der Bewirtschaftung ausgleichen. Eine stufenweise Anpassung an die steigende Regionalprämie bis 2013 wäre notwendig. Dies kann im Falle von naturschutzfachlich sehr wertvollen, aber nur durch Handmäh zu pflegenden Flächen insgesamt bis zu 1 000 €/ha erforderlich machen (ebenda).

Eine abschließende Empfehlung für die Förderpolitik der **Aufforstungen** lässt sich im Rahmen des Projektes aufgrund der Unsicherheiten bei den bereits beschriebenen Datengrundlagen ökonomisch nicht treffen (vgl. hierzu SCHUMANN und WURZ, 2006). Das UBA schlägt vor, die Gewährleistung der diversen Schutzleistungen der Forstwirtschaft über einen verbesserten „policy mix“ zu erreichen, welcher aus ordnungsrechtlichen Maßnahmen, vertraglichen Regelungen und Finanzhilfen und staatlicher Leistungserbringung im Forst als auch Subventionspolitik bestehen sollte. Spezifische Schutzleistungen des Forstes könnten wie bisher über den Vertragsnaturschutz auf Länderebene umgesetzt oder sukzessive durch darauf aufbauende Ökopunktsysteme (wie z. B. in Österreich) finanziert werden. Für die Bewilligung der Aufforstungsprämie muss ein hoher ökologischer Standard eingehalten werden, um eine nachhaltige Forstwirtschaft zu gewährleisten (UBA, 2003: 129f). Solche und andere Vorschläge müssten in Zukunft ökonomisch geprüft werden mittels Schaffung der z. Zt. fehlenden Datenbasis (s.o.). Im Kontext der geringen Rentabilität der Holzproduktion ist zu diskutieren, ob Flächen aus der Produktion heraus genommen werden sollten, um keinen Verlust zu erwirtschaften und die Produktionskosten einzusparen. Dies würde volkswirtschaftliche Kosten einsparen und die öffentlichen Haushalte entlasten. Die eingesparten Mittel könnten dann für die Neuanlage von Wäldern genutzt werden. Diesem Diskussionsanstoß wohnt die Annahme inne, dass ein nicht forstwirtschaftlich genutzter Wald trotzdem seine Hochwasser- und Naturschutzfunktion erfüllt. Aus der Produktion genommene Flächen könnten weiterhin ihre hohen volkswirtschaftlichen Leistungen erbringen (CO₂-Senkenfunktion, Erosionsschutz, Erholungsfunktion, Beitrag mitteleuropäischer Wälder zum Erhalt der Biodiversität etc.). Forstwirtschaftlich genutzte Wälder weisen außerdem den Nachteil auf, dass sie nur ein limitiertes Spektrum der potenziell möglichen Waldentwicklungsphasen (und damit dem mit unterschiedlichen Zerfallsstadien und hohen Altersklassen einhergehenden Artenreichtum, der ungestörten Konkurrenzdynamik etc.) aufweisen. Bei sinkenden Holzpreisen sinken auch die Opportunitätskosten der entgangenen Holzproduktion (vgl. SCHÄFER, 2002).

Höhenlinienparallele Bewirtschaftung hat wahrscheinlich nur marginale Wirkungen und sollte daher nicht gefördert werden. Zu diskutieren wäre, ob dies als Bedingung der Cross Compliance oder der guten fachlichen Praxis verankert werden sollte.

Zur Diskussion ist zu stellen, ob es notwendig wäre, ein reines Programm für vorbeugende, landwirtschaftliche Hochwasserschutzmaßnahmen zu entwickeln, welches auf einer Ergebnisorientierung mit hydrologischen Indikatoren (z. B. Abflussmessung auf Schlägen) basieren könnte. Nach Ansicht des Autors wäre es aber wahrscheinlich effizienter, die bestehenden Förderprogramme so zu überarbeiten, dass ein realer unternehmerischer Anreiz für die für den Landwirt unattraktiven Maßnahmen entstände, statt ohnehin attraktive Maßnahmen zu überfordern. Des Weiteren erscheint es sinnvoll zu überprüfen, ob Programme zu verschlanken sind, falls in manchen Bereichen Überschneidungen der Förderpunkte existieren sollten. Es scheint z. B. bei den wasserwirtschaftlich und naturschutzfachlich ausgerichteten Förderungen Überschneidungen zu geben, wie z. B. im Falle der Förderung von „Schutzpflanzungen“ (Wasserwirtschaft) und der Förderung „Hecken“ (Naturschutz). Nimmt man eine „Hecke“ gleichzeitig als „Schutzpflanzung“, so muss dies nicht zwingend über zwei Förderprogramme förderbar sein.

Ein Problem ist die ausschließliche Förderung der Umsetzung einer Maßnahme. Planungsarbeit, welche vorher geleistet werden muss, ist für den Planer möglicherweise eine signifikante Kostengröße, die bisher zu wenig Beachtung gefunden hat. Dies hat sich rechtlich nun geändert, weil mit der ELER-Verordnung die Transaktionskosten (Kosten des Vertragsabschlusses) abgegolten werden können, so dass es notwendig erscheint, dies bei der Bestimmung der Höhe der Prämien mit ein zu beziehen (vgl. GÜTHLER und OPPERMANN, 2005). Hier könnte durch z. B. die für Landwirtschaft zuständigen Ministerien eine starke Unterstützung erfolgen oder für solche Planungen ein eigenes Förderprogramm eingerichtet werden, z. B. eine Förderrichtlinie für landwirtschaftliche Hochwasserschutzplanungen.

9 Informationen zur Förderpolitik im Bereich Bodenschonender Ackerbau in Sachsen

Die EG-Verordnung Nr. 2078/92 vom 30. Juni 1992 über „umweltgerechte und den natürlichen Lebensraum schützende landwirtschaftliche Produktionsverfahren“ war Rechtsgrundlage des sächsischen Förderprogramms Umweltgerechte Landwirtschaft (UL-Programm). Gemäß den Vorgaben dieser EG-Verordnung wurde in Sachsen ab Herbst 1992 das UL-Programm angeboten. Es enthielt landes- und regionalspezifische Fördermaßnahmen für umweltgerechte, den natürlichen Lebensraum schützende landwirtschaftliche Produktionsverfahren. Das Programm umfasste sechs Teilprogramme, mit denen die Bereiche Ackerbau, Gartenbau, Kulturlandschaft (einschließlich Grünland) im wesentlichen flächenbezogen, der Bereich Haustierrassen tierbezogen und die Demonstrationsvorhaben sowie die Aus- und Weiterbildung projektbezogen gemäß den Vorgaben der EU gefördert wurden.

Die Teilnahme am UL-Programm für einen Mindestzeitraum von fünf Jahren war freiwillig. Eine Teilnahme war nur möglich, wenn betriebliche Grundvoraussetzungen (z. B. Verzicht auf Umwandlung von Grünland in Ackerland, Führung einer Schlagkartei, Vorhandensein einer ausreichenden Lagerkapazität für Gülle, Jauche und Stallmist für mindestens 180 Tage, Anbau standortgerechter

Sorten, Einhaltung einer mindestens dreigliedrigen Fruchtfolge usw.) erfüllt wurden. Das UL-Programm wurde zweimal mit entsprechenden Änderungen fortgeschrieben (1999 und 2004). Die jetzt noch geleistete Förderung läuft auf Grund der fünfjährigen Teilnahmeverpflichtung spätestens 2009 endgültig aus.

Im Hinblick auf einen flächenhaften Erosionsschutz in der Landwirtschaft gab und gibt es in Sachsen akuten Handlungsbedarf. So sind rund 60 % der Ackerflächen Sachsens (entsprechend 460 Tsd. H) potenziell wassererosionsgefährdet und rund 15 % der Ackerflächen potenziell durch Winderosion gefährdet. In beiden Fällen stellt die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat zu allen Fruchtarten eine sehr wirksame und gleichzeitig durch den Landwirt selbst umsetzbare Schutzmaßnahme gegen Bodenerosion dar.

Im UL-Programm wurde im Teilprogramm Umweltgerechter Ackerbau die Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung mit Mulchsaat zu einzelnen Fruchtarten gezielt gefördert. Die Förderung wurde bis zum Jahr 2003 mit jeweils 25 €/ha bemessen und in der Folge nach einer Neuberechnung auf 42 €/ha*a festgelegt. Die Berechnung des Förderbetrages ergibt sich einerseits aus erhöhten Aufwendungen (z. B. erhöhter Technikaufwand, PSM-Kosten etc.) und andererseits aus verringerten Erträgen bzw. Erlösen (z. B. Ertragsrückgang oder die Notwendigkeit zum Anbau ökonomisch weniger interessanter Kulturen in der Fruchtfolge etc.) bei Anwendung der geförderten Maßnahmen. Zusätzlich erlaubt die EG-Verordnung Nr. 2078/92 den Aufschlag einer sog. Anreizkomponente in Höhe von max. 20 % auf den Förderbetrag. Im Falle der Mulchsaatförderung wurde diese Anreizkomponente ausgeschöpft. Zielsetzung des Freistaates Sachsen und der EU ist es, umweltschonende Bestellverfahren wie z. B. die konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat, möglichst umfassend zur Anwendung zu bringen und dauerhaft zu etablieren.

Bei der Berechnung der Fördersätze wurde jeweils von durchschnittlichen Werten ausgegangen. Bei Maßnahmeförderungen, die auf eine möglichst flächenhafte Anwendung zielen, muss es als wenig sinnvoll eingeschätzt werden, in der Praxis nicht vorhandene optimale Bedingungen und Managementqualitäten der Bewirtschafter für die theoretische Ermittlung der optimalen Förderhöhe anzusetzen, da dies tatsächlich zu einem Nichterreichen der gesetzten Ziele führen würde. Die Annahme durchschnittlicher, in der Praxis tatsächlich vorzufindender Werte verfolgt auch das Ziel, durch die verbreitete Anwendung der Maßnahme einen Lernprozess bei den Landwirten auszulösen, der die Managementqualitäten verbessert und dazu beiträgt, die geförderten Maßnahmen langfristig auch ohne oder mit verringerter Förderung zur Anwendung zu bringen. Letztlich kann der Landwirt z. B. durch seine Managementfähigkeiten oder zusätzlich erworbene externe Beratungsleistungen die Wirtschaftlichkeit der Mulchsaat verbessern. Im Umkehrschluss wird bei diesem Vorgehen sowohl seitens des Freistaates Sachsen als auch seitens der EU-Kommission bewusst in Kauf genommen, dass bei den Landwirtschaftsbetrieben mit den besten Managementfähigkeiten Mitnahmeeffekte auftreten.

Tatsächlich ist in den ersten Anwendungsjahren der konservierenden Bodenbearbeitung auf Grund der Neuartigkeit und der fehlenden Erfahrungen mit dem Verfahren mit Mindererträgen zu rechnen. Dies galt insbesondere für den Zeitraum Anfang der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts. Zu diesem Zeitpunkt lagen in Deutschland, und damit auch in Sachsen, fast keine Erfahrungen mit konservierender Bodenbearbeitung vor. So wurden nach Erhebungen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 1992 knapp 2.000 ha Ackerfläche (entsprechend knapp 0,3 % der gesamten Ackerfläche Sachsens) pfluglos bestellt. Ein wichtiger Grund für den geringen Anwendungsumfang der konservierenden Bodenbearbeitung waren zum einen die fehlenden acker- und pflanzenbaulichen Kenntnisse. Zum anderen gab es zum damaligen Zeitpunkt keine serienreife sicher funktionierende bzw. störungsfrei arbeitende, gleichzeitig auf die sächsischen Betriebe mit ihrer oftmals großen Ackerflächenausstattung angepasste Bodenbearbeitungs- und Mulchsaat-/Direktsaat-technik.

Durch die in Sachsen gewählte Förderstrategie (flächenbezogene Förderung der konservierenden Bodenbearbeitung) wurde das Gesamtverfahren der konservierenden Bodenbearbeitung im gesamten Fruchtfolgeverlauf im Sinne der umfassenden Implementierung des Mulchsaatverfahrens (was zum einen geeignete Technik, zum anderen aber auch umfassende Veränderungen im Acker- und Pflanzenbau (Fruchtfolgegestaltung, geänderte Pflanzenschutzstrategien, veränderte Bodenbearbeitungsstrategien usw. erfordert) gefördert. Die flächenbezogene Förderung der konservierenden Bodenbearbeitung bot für den einzelnen Landwirtschaftsbetrieb eine sehr gute Möglichkeit, betriebsindividuell, d. h. abgestimmt auf die jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten, umfassende Managementstrategien zur erfolgreichen Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung zu allen Fruchtarten zu entwickeln. Der Erfolg dieses Ansatzes zeigt sich bei Betrachtung der Entwicklung des Anwendungsumfanges der konservierenden Bodenbearbeitung seit Auflegung des UL-Programms bis heute. So wurden 2005 (im 12. Jahr der Förderung der konservierenden Bodenbearbeitung durch das UL-Programm) annähernd 34 % der Ackerfläche Sachsens (entsprechend rund 246 Tsd. ha Ackerland) im Sinne des UL-Förderprogramms konservierend bestellt (Tabelle 36). Darüber hinaus ist von weiteren Flächenanteilen auszugehen, die ebenfalls konservierend bestellt, aber aus unterschiedlichen Gründen nicht gefördert werden. Insgesamt kann angenommen werden, dass derzeit in Sachsen etwa 50 % der Ackerfläche (entsprechend rund 350 Tsd. ha) konservierend bearbeitet wird, allerdings oftmals nicht dauerhaft und nicht flächenhaft in ganzen Einzugsgebieten. In Verbindung mit der UL-Förderung, einer entsprechenden Fachberatung zur konservierenden Bodenbearbeitung, gestützt auf Konsultationsbetriebe und regionale Arbeitskreise, ist damit in Sachsen eine sehr gute Ausgangsposition gegeben, dass die Landwirtschaft kurz- bis mittelfristig durch die gezielte, einzugsgebietsweite und dauerhafte Anwendung konservierender Bodenbearbeitung einen wirksamen Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz leisten kann. Insgesamt belegt Sachsen im Hinblick auf den Anwendungsumfang der konservierenden Bodenbearbeitung den ersten Platz im Vergleich mit anderen Bundesländern. Mit Sicherheit ist dies auch auf die konsequente und für die sächsischen Landwirte über Jahre hinweg verlässliche flächenbezogene Förderung der konservierenden Bodenbearbeitung zurückzuführen.

Tabelle 36: Entwicklung der im Rahmen des Programms Umweltgerechte Landwirtschaft in Sachsen geförderten konservierend bestellten Flächen von 1994 bis 2005 (SÄCHSISCHE AGRARBERICHTE 1994 bis 2005)

Jahr	Flächenumfang [ha]	Anteil an Gesamtackerfläche in Sachsen [%]
1994	1.638	0,2
1995	26.176	3,6
1996	44.585	6,2
1997	57.716	8,0
1998	75.970	10,5
1999	78.910	10,9
2000	104.672	13,3
2001	151.832	20,9
2002	176.693	24,5
2003	194.519	26,9
2004	236.343	32,8
2005	245.938	34,1

Die Förderwürdigkeit eines Verfahrens wird neben der ökonomischen Betrachtung von der Bewertung des Standes der Technik und der evtl. daraus resultierenden obligatorischen Anwendung des Verfahrens beeinflusst. Der letztgenannte Aspekt wird gemeinhin unter dem Begriff „gute fachliche Praxis“ subsumiert und beschreibt den Status, dessen Einhaltung von einem Flächenbewirtschafter ohne Ausgleichsmaßnahmen z. B. zur Erreichung ökologischer Ziele verlangt werden kann. Bei der guten fachlichen Praxis handelt es sich um einen unbestimmten Rechtsbegriff, der unter Beachtung des technischen und wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns und des Umsetzungsstandes in der landwirtschaftlichen Praxis ständigen Änderungen unterzogen ist. Die Entwicklung der guten fachlichen Praxis kann anhand der konservierenden Bodenbearbeitung mit Mulchsaat exemplarisch verdeutlicht werden.

Zu Beginn und auch über die Laufzeit des UL-Programms zählte die konservierende Bodenbearbeitung auf Grund der Neuartigkeit des Verfahrens nicht zur guten fachlichen Praxis. Ursachen hierfür waren zum einen die in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts zunächst völlig unzureichenden technischen Voraussetzungen (fehlende funktionssichere Mulchsaattechnik) sowie das fehlende Wissen im Hinblick auf Fruchtfolgegestaltung, Pflanzenschutzstrategien bei Pflugverzicht usw. Hier ist zu bedenken, dass erst die umfassendere Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung durch die UL-Förderung das Managementwissen für dieses Verfahren in sächsischen Betrieben vorgebracht hat. Zum heutigen Zeitpunkt (d. h. 2007) kann eingeschätzt werden, dass die Mulchsaat zu einzelnen Fruchtarten (z. B. zu Mais, Zuckerrüben, Raps, Getreide usw.) als

Stand der Technik und damit im weiteren Sinn als gute fachliche Praxis bezeichnet werden kann. Dieses Beispiel dokumentiert, inwiefern maßnahmenbezogene Förderprogramme zur Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis beitragen können und damit eine dynamische Effizienz erreicht wird.

Das neue ELER-Förderprogramm Sachsens (ELER: Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums 2007 – 2013, Förderprogramm der EU zur Umsetzung der Cross Compliance-Regelungen) nimmt diesen Sachverhalt auf, indem es ab 2007 nur noch die dauerhafte konservierende Bodenbearbeitung (d. h. ihre Anwendung im gesamten Fruchtfolgeverlauf) flächenbezogen fördert, nicht mehr jedoch die Mulchsaat zu einzelnen Fruchtarten (SMUL 2007). Die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung birgt heute noch vielfältige acker- und pflanzenbauliche sowie gerätetechnische Risiken, die ihrer umfassenden Anwendung in vielen Betrieben entgegensteht. Damit geht die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung deutlich über den aktuellen Stand der guten fachlichen Praxis hinaus. Die für die Betriebe entstehenden Einbußen und Risiken sollen durch die ELER-Förderung mit dem Ziel einer umfassenden und insbesondere auch dauerhaften Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung abgemildert werden. Zum anderen wird diese deutlich über die gute fachliche Praxis hinausgehende Förderung der konservierenden Bodenbearbeitung in Sachsen im Rahmen des ELER-Programms nur in sogenannten Gebietskulissen gewährt (z. B. Gebietskulisse Wassererosion). Diese Kulisse orientiert sich an den nach EU-WRRRL ausgewiesenen Fließ- und Standgewässerkörpern. Durch die kulissenbezogene Förderung der erosionsmindernden konservierenden Bodenbearbeitung soll ein effizienterer Beitrag zur Erreichung bzw. Sicherung einer guten Wasserqualität von Oberflächenwasserkörpern im Sinne der Umsetzung der EU-WRRRL geleistet werden. Das von Sachsen bei der EU-Kommission zur Genehmigung eingereichte ELER-Konzept (mit der Förderung der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung innerhalb von Gebietskulissen) wurde inzwischen durch die zuständige EU-Kommission gebilligt.

10 Schlussfolgerungen und Ausblick

Kernpunkt des vorliegenden Projektes ist die Überlegung, dass es in den Einzugsgebieten auch bei hochwasserverursachenden Niederschlagsereignissen bisher ungenutzte Rückhaltepotenziale in Form ungesättigter Böden gibt, die durch geeignete Maßnahmen für einen die Hochwasserabflüsse verringernenden Wasserrückhalt nutzbar gemacht werden können. Diese Böden existieren in unterschiedlicher Mächtigkeit, mit unterschiedlicher Teilsättigung durch vorausgegangene Niederschläge und mit unterschiedlicher Fähigkeit, Regenwasser über längere Zeit zurückzuhalten, örtlich ungleichmäßig über das jeweilige Einzugsgebiet verteilt, zwischen einer den Hochwasserabfluss dominierenden Oberbodenschicht und einer unteren Begrenzung durch Festgestein oder Grundwasser.

Ein wesentlicher erster Arbeitsschritt des Projektes bestand darin, dieses Rückhaltepotenzial am Beispiel des Einzugsgebietes der sächsischen Mulde betraglich nachzuweisen. Das für dieses

Einzugsgebiet von ca. 6 800 km² errechnete theoretische Gesamt-Rückhaltepotenzial liegt für Regeneignisse mit hundertjähriger Wiederkehrwahrscheinlichkeit je nach Regendauer, -intensität und Dauer regenfreier Vorperioden zwischen ca. 70 Mio. m³ und rd. 375 Mio m³. Dieses entspricht einem durchschnittlichen Rückhaltevermögen von 105 bis 550 m³ je ha oder einer durchschnittlichen speicherbaren Regenhöhe zwischen 10 und 55 mm. Dabei handelt es sich ausdrücklich um einen Rückhalt, dessen Verweildauer im Boden ausreicht, um der jeweils zugehörigen Hochwasserwelle entzogen zu werden. Der so definierte Rückhalt wird deshalb hier mit „Senkenpotenzial“ bezeichnet.

Das theoretische Rückhaltepotenzial ist im Muldegebiet örtlich ungleichmäßig verteilt. Während im Erzgebirgsraum aufgrund der geringen Bodenmächtigkeit und des starken Gefälles nur geringe Rückhaltepotenziale vorliegen (hier liegen auch die im sächsischen Wassergesetz so bezeichneten Hochwasserentstehungsgebiete), konzentrieren sich die hohen Anteile des Rückhaltepotenzials auf das vorgelagerte Lösshügelland. Man kann diese Gebiete daher analog zum Begriff der Hochwasserentstehungsgebiete als potenzielle Hochwasserminderungsgebiete bezeichnen. Diesem Begriff sollte zukünftig mindestens die gleiche Bedeutung beigemessen werden wie dem Begriff der Hochwasserentstehungsgebiete.

Das theoretische Rückhaltepotenzial ist so definiert, dass es sich um ein Speichervolumen handelt, das bei hochwasserverursachenden Niederschlägen durch den Prozess der Infiltration erschlossen werden kann. Infiltrationsmindernde Effekte der Landnutzung wie Verschlammungsprozesse oder anderweitige die Infiltrationskapazität herabsetzende Effekte führen zu einer Reduktion des erschließbaren Speichervolumens. Die gezielte positive Beeinflussung der Infiltrationseigenschaften kann einen beträchtlichen Beitrag leisten, dieses natürliche Wasserrückhaltepotenzial besser zu erschließen. Dabei sollte es sich um Maßnahmen handeln, die nicht nur für die Minderung der Hochwasserabflüsse von Interesse sind, sondern auch andere Veranlassungen haben, um Akzeptanz und Finanzierbarkeit sicherzustellen. Im Rahmen dieses Projektes wurden - als im bestimmten Umfang konkret umsetzbare Maßnahmen - die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten sowie die Umstellung weiterer Ackerflächen auf die pfluglose Bodenbearbeitung hinsichtlich einer verbesserten Erschließung des Rückhaltepotenzials bewertet. So ergibt sich unter der Annahme, dass künftig 15 % der bisher an Kanalnetze angeschlossenen Flächen im Einzugsgebiet der Mulde dezentral bewirtschaftet werden, in Bezug auf die in den Jahren 1995 und 2002 (Elbehochwasser) aufgetretenen hochwasserverursachenden Niederschlagsereignisse, in den Siedlungsgebieten ein zusätzlich nutzbares Rückhaltepotenzial von rd. 6 Mio. bzw. 4,5 Mio m³, bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet der Mulde.

Die Umstellung von 20 % derzeit noch konventionell bearbeitete Ackerflächen auf pfluglose Bearbeitung ergibt bei diesen Ereignissen ein zusätzliches Rückhaltevolumen von 5 bzw. 7 Mio. m³. Wenn die gesamte, derzeit noch konventionell bearbeitete Fläche von rd. 130 000 ha auf pfluglose

Bearbeitung umgestellt wird, ergibt sich ein entsprechendes zusätzliches Rückhaltevolumen von 17,5 bzw. 23 Mio. m³.

Addiert man die als ausschöpfbar betrachteten Rückhaltevolumina in den Bereichen Siedlungsflächen und Landwirtschaft kommt man je nach prozentualer Umsetzung auf den landwirtschaftliche Flächen auf Beträge zwischen ca. 11 und 29 Mio. m³. Wenn man diese insgesamt erzielbaren Volumina mit dem Gesamtvolumen der im Muldegebiet vorhandenen Talsperrenvolumina vergleicht, stellt man fest, dass es sich um eine wasserwirtschaftlich durchaus relevante Größenordnung handelt.

Hinzu kommen die Rückhaltungsmengen, die durch die in diesem Projekt untersuchten und vorgeschlagenen naturschutzfachlichen Maßnahmen in der Agrarlandschaft erzielt werden können. Ein wesentliches Ziel des Projektes war es, Synergieeffekte zwischen den Zielen und Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes und des Naturschutzes zu ermitteln. Es zeigte sich, dass insbesondere fluruntergliedernde Maßnahmen wie Gras- und Krautstreifen oder auch Brachen einen hohen multifunktionalen Nutzen in der Agrarlandschaft entfalten können, während Bewirtschaftungsmaßnahmen wie die konservierende Bodenbearbeitung primär aus Hochwasserschutz- und Bodenschutzgesichtspunkten positive Effekte aufweisen. Modellgestützte Untersuchungen im intensiv genutzten Lösshügelland haben zudem gezeigt, dass zusätzliche Biotopstrukturen bei einem ausreichenden Flächenanteil (20 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche) vergleichbare Retentionseffekte wie die pfluglose Bodenbearbeitung bewirken können.

Eine Ausschöpfung der vorhandenen Wasserrückhaltepotenziale und Synergieeffekte setzt eine umfassende planerische Steuerung voraus. Es wurde aufgezeigt, dass die Bereiche mit besonders hohem Rückhaltepotenzial als Hochwasserminderungsgebiete in der räumlichen Planung festgesetzt werden können. Entscheidungen über multifunktionale Hochwasserschutzmaßnahmen sollten vor allem durch vorsorgende und querschnittsorientierte Planungsinstrumente vorbereitet werden. Hierbei sollten die Möglichkeiten der räumlichen Gesamtplanung zur Koordination und Integration verschiedener Interessen genutzt werden. Die Landschaftsplanung kann wesentlich zu einem integrativen Hochwasserschutz beitragen, indem wasserrückhaltende Maßnahmen in ein ganzheitliches Konzept zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft eingebunden werden. Die Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie, welche die Bewirtschaftung der Gewässer stärker an Flusseinzugsgebieten ausgerichtet sieht, unterstützen den verfolgten naturgutübergreifenden Ansatz.

Welche Folgerungen lassen sich nun aus diesem Projekt ableiten?

- Hier ist zunächst auf den schon erwähnten Begriff der „Hochwasserminderungsgebiete“ zu verweisen. Dieser Begriff erscheint aus der Sicht der vorliegenden Projektbearbeitung für einen effektiven vorbeugenden Hochwasserschutz deutlich bedeutsamer als der bisher schon im sächsischen Wassergesetz verankerte Begriff „Hochwasserentstehungsgebiete“. Letzterer hat

seine Bedeutung vor allem darin, dass man in diesen Gebieten alles vermeiden sollte, was zu einer Verschärfung der Abflüsse beitragen kann. Die durch angepasste Landnutzungen oder entsprechende Maßnahmen zusätzlich erschließbaren natürlichen Wasserrückhalte im Boden sind jedoch gering. Die Hochwasserminderungsgebiete zeichnen sich dagegen dadurch aus, dass man die Abflüsse hier nachhaltig und naturnah verringern kann, wenn man Maßnahmen ergreift, die sich nicht nur der Hochwasserminderung wegen sondern auch aus anderen Gründen als sinnvoll erweisen. Das gegenwärtige Problem besteht nur darin, dass die Hochwasserminderungsgebiete bisher gesetzlich nicht definiert und den möglichen Planungs- und Umsetzungsinstrumenten daher nicht zugeordnet werden können. Hierzu werden im vorliegenden Bericht unter Abschnitt 8 entsprechende Vorschläge gemacht.

- Weiter ist zu folgern, dass die diesem Projekt zugrundeliegenden Maßnahmen das Reservoir der Möglichkeiten, die Hochwasserabflüsse zu vermindern, keineswegs ausschöpfen. So wurde lediglich ein relativ kleiner Anteil der im Einzugsgebiet nachgewiesenen Flächen mit entsprechendem Senkenpotenzial (insgesamt 3.418 km²) für eine Analyse der hydrologischen Wirksamkeit infiltrationsfördernder Maßnahmen ausgewählt (357 km² Ackerflächen, 87 km² Siedlungsflächen). Eine über diese Annahmen hinausgehende, flächenhafte Infiltrationsförderung auf den geeigneten Flächen lässt eine weitere Optimierung der Ausnutzung des theoretischen Senkenpotenzials erwarten. Insbesondere im Bereich der Landwirtschaft bestehen noch erhebliche Möglichkeiten, das Rückhaltepotenzial weiter auszuschöpfen, wenn man sich auf den Standpunkt stellt, dass die dezentrale Bewirtschaftung des Regenwassers auf diesen Flächen genau wie die der zentralen bautechnischen Maßnahmen, wie z. B. Rückhaltepolder oder zur Überflutung ausgewiesene Talauenabschnitte, eine volkswirtschaftliche Aufgabe darstellt, die auch als volkswirtschaftliche Aufgabe finanziert werden muss. „Der Landwirt als Wasserwirt“ könnte daher ein Slogan der Zukunft werden.
- Die dezentrale Bewirtschaftung des Regenwassers unter Ausschöpfung und eine Übersättigung vermeidende Bewirtschaftung des Rückhaltepotenzials im Boden könnte sich zu einer zwingenden zukünftigen Aufgabe entwickeln, wenn die Voraussagen der Klimaforscher zutreffen, die von einer signifikanten Änderung der Niederschlagscharakteristiken in Deutschland ausgehen. Demnach wird es nicht nur zu einer Häufung und Verstärkung der Hochwasserabflüsse kommen, sondern in bestimmten Regionen auch zu einer Intensivierung und Verlängerung der Trockenperioden. Daher sollten sich weiterführende Untersuchungen schon jetzt damit befassen, wie man solche Klima-Szenarien mit weiterführenden Maßnahmen, die über die hier untersuchten hinausgehen, wenigstens teilweise kompensieren kann. Entsprechende Ideen dazu sind schon jetzt vorhanden bzw. lassen sich initiieren. Es sei daher an die in Frage kommenden Institutionen die Aufforderung gerichtet, sich diesem heraufziehenden Problem und dessen vorsorglich zu untersuchenden Lösungen zuzuwenden.

- ADAMS R. 1996. Dezentrale Versickerung von Niederschlagsabflüssen in Siedlungsgebieten - Umsetzung von Maßnahmen und Anlagen in die Praxis, Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz, Band 14, SUG-Verlag, Hannover.
- ADAMS, W.A. 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. In: J. Soil Sci. 24, 10-17.
- AG BODEN, BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN. 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover, 5. Auflage.
- AGENTUR FÜR LANDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ. o.A.. Kosten und Nutzen der Landwirtschaft, Kurzgutachten und Forschungskonzept, Greifswald.
- AKKERMANN, M.. 2004. Beurteilung des Einflusses einer angepassten Ackernutzung auf den Hochwasserabfluss, Hannover.
- ALBRECHT, C., T. ESSER, J. WEGLAU UND H. KLEIN. 2002. Vielfalt der Tierwelt in der Agrarlandschaft. Ergebnisse des Projektes „Lebendige Natur durch Landwirtschaft“. Schriftenreihe des Instituts für Landwirtschaft und Umwelt (ilu) Heft 4/2002, 160 S., Bonn.
- Andersen, A. 2003. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. II. Pests and beneficial insects. In: Crop. Prot. 22: 147-152.
- AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND NATUR –VOLKSWIRTSCHAFTSDIREKTION - Kanton Bern. 2003. Bodenbericht 2003 Demonstrationsversuch auf der Dauerbeobachtungsparzelle „Oberacker“, Zürich.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT BODEN- UND GEWÄSSERSCHUTZ. 2000. Endbericht - Modellgestützte Ableitung hochauflösender Bodenerosionsprognosekarten für das Einzugsgebiet der Jahna (Ist-Stands-Analyse und Variantenvergleich), Freiberg.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT BOSCH UND PARTNER GMBH. 2000. Endbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Kriterienkatalog zur Gestaltung von Ackerschlägen im Agrarraum - Landschaftsökologische Aspekte“. Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, 221 S.
- ARL - AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG. 2003. Vorbeugender Hochwasserschutz: Handlungsempfehlungen für die Regional- und Bauleitplanung. In: Nachrichten der ARL (4): 12-15.
- ARNOLD-REICH, U. und M. REICH. 2005. Die Besiedlung neu entwickelter Biotop einer stadtnahen Agrarlandschaft durch Heuschrecken am Beispiel des Kronsberges bei Hannover (Niedersachsen). In: Articulata 20 (2): 139-154.
- ASSMANN, A. und H. GÜNDRA. 1999. Die Bedeutung integrierter Planungsverfahren für die Umsetzung dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 43 (4): 160-164.
- ASSMANN, A.. 2001. Dezentraler, integrierter Hochwasserschutz – vom Konzept zur Planung. In: Heiden, S., R. Erb und F. Sieker (Hrsg.): Hochwasserschutz heute – Nachhaltiges Wassermanagement. Initiativen zum Umweltschutz Band 31, 197-217, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

- ASSMANN, A., H. GÜNDRA, G. SCHUKRAFT UND A. SCHULTE. 1998. Konzeption und Standortauswahl bei der dezentralen, integrierten Hochwasserschutzplanung für die Obere Elsenz (Kraichgau). In: Wasser und Boden 50 (8): 15-19.
- AUERSWALD, K.. 2002. Landnutzung und Hochwasser. In: Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Katastrophe oder Chance? Hochwasser und Ökologie. Rundgespräche der Kommission für Ökologie Band 24, 67-76, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- AUßENDORF, H., K. HENDRICKS, A. LOHEL UND J. SCHOLZ. 2006. Naturschutzfachliche Optimierung von Erosionsschutz-Maßnahmen in intensiv genutzten Agrarlandschaften - am Beispiel der Mockritzer Flur in Sachsen. 167 S., Projektarbeit am Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover.
- BALKE H., RUDOLPH K.-U.. 1997. Ökonomische Determinanten der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung und ihr Einfluss auf die Gebührenfestsetzung, in: Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung, Reihe Stadtökologie, Analytica-Verlag, Berlin.
- BANDERMANN, S., H. SIEKER, Z. JIN, F. JAKOBS UND B. SPENGLER. 2005. Development of an on-site stormwater management information system for the Emscher drainage basin, 10th International Conference on Urban Drainage, 21-26 August 2005, Copenhagen/Denmark.
- BASTIAN, O. UND K.-F. SCHREIBER (Hrsg.). 1994. Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Bearb. von 16 Fachwissenschaftlern. 502 S., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- BASTIAN, O.. 1997. Gedanken zur Bewertung von Landschaftsfunktionen - unter besonderer Berücksichtigung der Habitatfunktion. In: NNA-Berichte 3/97: 106-125.
- BAUMGARTNER, A. UND H.-J. LIEBSCHER. 1996. Lehrbuch der Hydrologie. Band 1: Allgemeine Hydrologie - quantitative Hydrologie. 2. Aufl., 694 S., Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LWF), 2004; Berichte aus der bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nummer 44 Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern Ergebnisse eines Demonstrationsverfahrens, Freising 2004.
- BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN SOWIE UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ. 2005. Cross Compliance 2005 Erhaltung von Flächen in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand Erhaltung von Dauergrünland Vogelschutz- und FFH-Gebiete Grundwasserschutz Klärschlammasbringung Düngung mit stickstoffhaltigen Düngemitteln Kennzeichnung und Registrierung von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen, München.
- BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN. 2002. Merkblatt Phosphordüngung und Gewässerschutz, München.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN. 2003. Grünlandwirtschaft in Bayern, Status- und Entwicklungsbericht, München.
- BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN SOWIE UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ. 2005. Cross Compliance 2005 Erhaltung von Flächen in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand Erhaltung von Dauergrünland Vogelschutz- und FFH-Gebiete Grundwasserschutz Klärschlammasbringung Düngung mit stickstoffhaltigen

- Düngemitteln Kennzeichnung und Registrierung von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen, München 2005.
- BECKER, M., G. GERETSHAUSER, B. SPENGLER & H. SIEKER. 2005. A stormwater management information system for the catchment area of the River Emscher, 10th International Conference on Urban Drainage, 21-26 August 2005, Copenhagen/Denmark.
- BECKER, C.. 1997. Dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitungssysteme und Betriebsgröße, - eine pflanzenbaulich-ökonomische Analyse, Göttingen.
- BENTON, T.G., J.A. VICKERY, UND J.D. WILSON. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? In: Trends in Ecology and Evolution 18: 182-188.
- BERNOTAT, D., J. JEBRAM, D. GRUEHN, T. KAISER, P. KRÖNERT, H. PLACHTER, C. RÜCKRIEM UND A. WINKELBRANDT. 2002A. GELBDRUCK "BEWERTUNG". IN: PLACHTER, H., D. BERNOTAT, R. MÜSSNER UND U. RIECKEN: Entwicklung und Festlegung von Methodenstandards im Naturschutz – Ergebnisse einer Pilotstudie. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz Heft 70, 357-407, Bonn-Bad Godesberg.
- BERNOTAT, D., H. SCHLUMPRECHT, C. BRAUNS, J. JEBRAM, G. MÜLLER-MOTZFELD, U. RIECKEN, K. SCHEURLLEN UND M. VOGEL. 2002b. Gelbdruck "Verwendung tierökologischer Daten". In: Plachter, H., D. Bernotat, R. Müssner und U. Riecken: Entwicklung und Festlegung von Methodenstandards im Naturschutz – Ergebnisse einer Pilotstudie. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz Heft 70, 109-217, Bonn-Bad Godesberg.
- BERTKE, E., GEROWITT, B. UND ISSELSTEIN, J.. 2003. Regionale Grünlandtypen – Erhaltung, Herstellung und Honorierung in einem ergebnisorientiertem Ansatz in: Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Grünlandmanagement nach der Umsetzung der Agenda 2000 – Probleme und Perspektiven für Landwirtschaft und Naturschutz - Heft 393, S. 46-52, Berlin.
- BERTKE et al.. 2003. Regionale Grünlandtypen – Erhaltung, Herstellung und Honorierung in einem ergebnisorientierten Ansatz IN: Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Grünlandmanagement nach der Umsetzung der Agenda 2000 – Probleme und Perspektiven für Landwirtschaft und Naturschutz - Heft 393, Berlin.
- BEST, L.B. 1986. Conservation tillage: ecological traps for nesting birds? In: Wild. Soc. Bull. 14: 308-317.
- BEST, L.B.. 1995. Impact of tillage practices on wild life habitat and populations. In: Soil and Water Conservation Society: Farming for a Better Environment, a White Paper. 67 S., Ankeny (USA).
- BEVEN, K. 1984. Infiltration into a class of vertically non-uniform soil. Hydrol. Sci. J. 29: 425-434
- BML - BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg.). 1999. Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. 24 S., Bonn.
- BMVEL - BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.). 2002. Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. 104 S., Bonn.

- BMVEL - BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.). 2005. Grundsätze und Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Standpunktpapier des BMVEL zu § 17 des Bundesbodenschutzgesetzes, Bonn. <http://www.verbraucherministerium.de/index-EAAA8D35C9B440D0BC96D7D552FFF621.html> Stand 14.12.2005
- BÖHM, H.R., P. HEILAND, K. DAPP UND A. MENGEL. 1998. Anforderungen des vorsorgenden Hochwasserschutzes an Raumordnung, Landes-/Regionalplanung, Stadtplanung und die Umweltfachplanungen - Empfehlungen für die Weiterentwicklung. UBA-Texte 45/99, 294 S., Berlin.
- BOHNE, K. 2005. An Introduction into applied soil hydrology. Catena Verlag GmbH, 231pp.
- BORGWARDT 1994. Versickerung auf befestigten Verkehrsflächen, Planerische Möglichkeiten des Einsatzes wasserdurchlässiger Pflasterungen, SF-Kooperation GmbH, Beton-Konzepte, Bremen.
- BORK, H.-R.. 2003. Der Landschaftswasserhaushalt Mitteleuropas. Historische Entwicklung und Zukunftsperspektiven unter besonderer Berücksichtigung Brandenburgs. In: Erdmann, K.-H. und C. Schell (Bearb.): Zukunftsfaktor Natur - Blickpunkt Wasser. 15-28, Bonn-Bad Godesberg.
- BOTT, W., T. HOFMANN UND D. SCHENK. 2000. Water Management at Forest Sites – Impact of Forestry and Hydrologic Measures. In: Toensmann, F. und M. Koch (Hrsg.): River Flood Defence, Volume 1. Kassel Reports of Hydraulic Engineering No. 9/2000, D75-D82, Herkules Verlag, Kassel.
- BRAND-SASSEN, H.. 2004. Bodenschutz in der deutschen Landwirtschaft – Stand und Verbesserungsmöglichkeiten. 332 S., Göttingen.
- BRIEMLE. 1998. Anforderungen an die Grünlandbewirtschaftung im Sinne des Schutzes von Gewässern – internationale Seen-Fachtagung 1998, Aulendorf 1998.
- BRIEMLE. 1990. Umwandlung von Acker- in Extensivgrünland, Erfahrungen zur Extensivierung am Beispiel einer Staatsdomäne in Baden-Württemberg, In: Landschaft + Stadt (Hrsg.), Landschaft + Stadt Heft 22, Stuttgart 1990, S. 68-72.
- BROGGI, M.F. UND H. SCHLEGEL. 1989. Mindestbedarf an naturnahen Flächen in der Kulturlandschaft. Dargestellt am Beispiel des schweizerischen Mittellandes. Bericht 31 des Nationalen Forschungsprogramms „Boden“, 180 S., NFP 22, Liebefeld-Bern (CH).
- BRÖRING, U., F. SCHULZ, R. STIERAND, J. VORWALD UND G. WIEGLEB. 1996. Die Leitbildmethode als Planungsmethode – Errungenschaften und Defizite. BTU Cottbus, AR 8/96, 146-152, Cottbus.
- BROSINGER, F. UND A. ROTHE. 2003. Intakter Bergwald – unverzichtbar für den Hochwasserschutz in Bayern, In: Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (LWF) (2003): Berichte aus der bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nummer 40 Hochwasserschutz im Wald, Freising, S. 34-38.
- BRUNS, R. (Bearb.). 2003. Handlungsempfehlung zur Bewertung und Bilanzierung von Eingriffen im Freistaat Sachsen. Studie im Auftrag des SMUL, 73 S., Dresden.

- BRUNOTTE, J. UND M. WAGNER. 2001. Bodenschonung und Kosteneinsparung – Einführung technischer Lösungskonzepte zur Minderung und Vorbeugung von Bodenschutzproblemen in der Pflanzenproduktion, Münster 2001.
- BRUNOTTE, J. et al.. 2000: Zur guten fachlichen Praxis beim Einsatz moderner Zuckerrüben-Erntetechnik. In: Zuckerrübe, 49 (1): 34–40.
- BRYAN, G. UND J. PEASE. 1990. Managing Iowa Habitats - Grassed Waterways. Iowa State University Extension, 6 S., Ames (USA).
- BÜLTMANN, K., E. KOCH, A. MEYER UND G. OBSER. 2005. Hochwasserschutz unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte am Beispiel des Klatschbachs. 120 S., Projektarbeit am Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover.
- FAL - BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT. 2003. Auswirkungen der Luxemburger Beschlüsse auf ländliche Räume, Agrarumweltmaßnahmen und die Ausgleichszulage, S. 1-60, Braunschweig.
- FAL - BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT. 2005. Ökonomische Rahmenbedingungen und Perspektiven landwirtschaftlicher Produktion in den nächsten Jahrzehnten, S. 1-14, Braunschweig.
- BMBF - BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG. 2002. Entwicklung von dauerhaft umweltgerechten Landbewirtschaftungsverfahren im sächsischen Einzugsgebiet der Elbe, Leipzig 2002.
- BURKHARDT, R., H. BAIER, U. BENDZKO, E. BIERHALS, P. FINCK, K. JENEMANN, A. LIEGL, R. MAST, E. MIRBACH, A. NAGLER, A. PARDEY, U. RIECKEN, J. SACHTLEBEN, A. SCHNEIDER, S. SZEKELY, K. ULLRICH, U. VAN HENGEL UND U. ZELTNER. 2003. Naturschutzfachliche Kriterien zur Umsetzung des § 3 BNatSchG "Biotopverbund". In: Natur und Landschaft 78 (9/10): 418-426.
- CARTER, M.R., J.B. SANDERSON, J.A. IVANY UND R.P. WHITE. 2002. Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the coolhumid climate of atlantic Canada. In: Soil Tillage Res. 67:85-98.
- CASTRALE, J. S.. 1985. Responses of wildlife to various tillage conditions. In: Trans. N. Am. Wildl. Nat. Res. Conf. 50: 142-156.
- CHU, X. UND M.A. MARIÑO. 2005. Determination of ponding condition and infiltration into layered soils under unsteady rainfall. J. Hydrol. 313: 195-207
- DABBERT, S., S. HERRMANN, G. KAULE UND M. SOMMER (Hrsg.). 1999. Landschaftsmodellierung für die Umweltplanung. Methodik, Anwendung und Übertragbarkeit am Beispiel von Agrarlandschaften. 246 S., Springer-Verlag, Berlin.
- DAPP, K., N. SCHECK UND P. HEILAND. 2000. Raumordnerische Beiträge zum vorsorgenden Hochwasserschutz - Beispiele, Möglichkeiten und Grenzen. In: Tönsmann, F. (Hrsg.). 2000. Vorbeugender Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der hessischen Lahn, S. 117-130, Herkules, Kassel.
- DE JONG, E. UND T. KOWALCHUK. 1995: The effect of shelterbelts on erosion and soil properties. In: Soil Sci. 159: 337-345.

- DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT e.V. (DLG) und WWF Deutschland. 2002. Die Agrarumweltprogramme Ansätze zu ihrer Weiterentwicklung, Hamburg, S.3-6.
- DVL - DEUTSCHER VERBAND FÜR LANDSCHAFTSPFLEGE et al.. 2003. Die Flächenstilllegung im Rahmen der Agrarpolitik Konzept, Perspektiven und agrarpoltischer Handlungsbedarf aus Sicht von Naturschutz und Jagd, o. A. 2003.
- DOLESCHEL, P. UND A. HEIßENHUBER. 1991. Externe Kosten der Bodenerosion, In: Bayrisches Landwirtschaftliches Jahrbuch, Jg. 68, S. 187-209, Verlag Kastner, Wolzach.
- DÖRHÖFER, G. UND V. JOSOPAIT. 1980. Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. In: Geol. Jahrbuch 1980, C 27: 46-65.
- DÖRING, J. G. ENDE UND R. STEFFENS. 1999. Fachentwurf einer Landschaftspflegekonzeption für den Freistaat Sachsen. In: Naturschutzarbeit in Sachsen 41: 7-18.
- DWA. 1992. Arbeitsblatt A 128: Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen
- DWA. 1995. Hinweise zur Versickerung von Niederschlagsabflüssen, Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.4.1., Korrespondenz Abwasser, Heft 5, S. 797 - 806
- DWA. 2005. Arbeitsblatt A-138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Hennef.
- DWA. 2006. Arbeitsblatt A-118: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen.
- DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST. 1997. Starkniederschlagshöhen für Deutschland KOSTRA. Selbstverlag des DWD
- EAWAG - EIDGENÖSSISCHE ANSTALT FÜR WASSERVERSORGUNG, ABWASSERREINIGUNG UND GEWÄSSERSCHUTZ. 2005. Landwirtschaft und Gewässerqualität, 59d, Dübendorf i.d. Schweiz.
- FAT - EIDGENÖSSISCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR AGRARWIRTSCHAFT UND LANDTECHNIK. 1999. Bodenbearbeitung und Bestellung, Nr. 534, Tänikon.
- ENDRES, A.. 2000. Umweltökonomie, 2., überarbeitete Auflage, 258 S., Stuttgart.
- ERNSTBERGER, H., A. MEUSER, V. SOKOLLEK UND B. WOHLRAB. 1992. Hydrologische Brachlandforschung im Mittelgebirge. Zehn Jahre Untersuchungen in Mittelhessen. DVWK-Schriften 101, 183 S., Hamburg.
- ESTLER, M. UND H. KNITTEL. 1996. Praktische Bodenbearbeitung: Grundlagen, Gerätetechnik, Verfahren, Bewertung. 2. Aufl., 264 S., DLG-Verlag, Frankfurt (Main).
- EZG MITTELDEUTSCHER KÖRNERMAISANBAUER w.V.. 2002. Langjährige, vergleichende Untersuchungen zwischen traditioneller Bodenbearbeitung und verschiedener Mulchsaatverfahren in ihrem Einfluss auf ausgewählte Bodeneigenschaften, die Dynamik Unkrautbesatzes und Ertrag sowie Qualität bei Mais, Schkeuditz.
- EZG MITTELDEUTSCHER KÖRNERMAISANBAUER w.V.. 2002a. Bodendecker, Maismulchsaat und Unkrautregulierungsvarianten im Vergleich Ertrag und Qualität sowie Kosten und Rentabilität bestimmen maßgeblich das anzuwendende Anbauverfahren Betriebswirtschaftliche Bewer-

tung der Ergebnisse der langjährigen Feldversuche – die Wirtschaftlichkeit entscheidet maßgeblich über das Verfahren, Schkeuditz.

- FABIS, J., M. BACH UND H.G. FREDE. 1993. Stoffretention in Uferstreifen. In: Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 72: 1153-1156.
- FELDWISCH, N., S. KUNTZ UND S. MAYER. 1999. Einflüsse land- und forstwirtschaftlicher Maßnahmen auf den Hochwasserabfluss – Wissenstand, Skalenprobleme, Modellansätze. DVWK-Materialien 7/1999, Bonn.
- FGSV. 1987. Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung (RAS-Ew), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV).
- FIENER, P. UND K. AUERSWALD. 2005a. Multi-purpose grassed waterways – an effective method for runoff control in agricultural watersheds? In: Frede, H.-G. und M. Bach (Hrsg.): Multifunctionality of Landscapes - Analysis, Evaluation, and Decision Support. Abstracts. International Conference May 18-19, 2005, Justus-Liebig-University Giessen, Germany, S. 78.
- FIENER, P. UND K. AUERSWALD. 2005b. Measurement and modeling of concentrated runoff in grassed waterways. In: J. Hydrology 301: 198-215.
- FLADE, M.. 1994. Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands – Grundlagen für den Gebrauch vogelkundlicher Daten in der Landschaftsplanung. 879 S., IHW-Verlag, Eching.
- FLADE, M., H. PLACHTER, E. HENNE UND K. ANDERS (Hrsg.). 2003. Naturschutz in der Agrarlandschaft. Ergebnisse des Schorfheide-Chorin-Projektes. 388 S., Quelle und Meyer Verlag GmbH und Co, Wiebelsheim.
- FRANK, K., H. LOREK, F. KÖSTER, M. SONNENSCHNEIN, C. WISSEL UND V. GRIMM. 2003. META-X - Software for Metapopulation Viability Analysis. UFZ-Centre for Environmental Research Leipzig-Halle (Ed.), 195 S., Springer, Berlin, Heidelberg.
- FREDE, H.-G.. 2004. Reduzierung der P-Belastung in die Antrift und in den Antriftstausee durch Maßnahmen der konservierenden Bodenbearbeitung. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Bodenschutz und landwirtschaftliche Bodennutzung – Umweltwirkungen am Beispiel der konservierenden Bodenbearbeitung. UBA-Texte 35/04, 98-107, Berlin.
- FRERICHS, S., F. HATZFELD, A. HINZEN, S. KURZ, P. LAU UND A. SIMON. 2003. Sichern und Wiederherstellen von Hochwasserrückhalteflächen. UBA-Texte 34/03, 169 S., Berlin.
- FRIEDER, T., E. HARTMANN, R. LUICK UND O. POPPINGA. 2004. Analyse von Agrarumweltmaßnahmen, Bonn – Bad Godesberg.
- FÜRST, D. UND F. SCHOLLES (Hrsg.). 2001. Handbuch Theorien + Methoden der Raum- und Umweltplanung. Handbücher zum Umweltschutz 4, 2. Aufl., 407 S., Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur, Dortmund.
- FÜRST, D., D. KIEMSTEDT, G. GUSTEDT, E. RATZBOR UND F. SCHOLLES. 1992. Umweltqualitätsziele für die ökologische Planung. UBA-Texte 34/92, 323 S., Berlin.
- GÄNSRICH, C. UND I. WOLLENWEBER. 1995. Retention. Eine Methodenuntersuchung zur Planungspraxis. Arbeitsmaterialien 30, Schriftenreihe des Institutes für Landschaftspflege und Naturschutz am Fachbereich Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung, 151 S., Hannover.

- GASSNER, E.. 1996. Möglichkeiten und Grenzen einer rechtlichen Stärkung der Landschaftsplanung. In: *Natur und Landschaft* 71 (11): 469-473.
- GEIER, M.. 1993. Die Problematik der Förderung von Erstaufforstungen aus der Sicht des Naturschutzes und der Landschaftspflege. Referat beim ANL-Seminar „Erstaufforstung und Naturschutz“ vom 19.-21. April 1993 in Deggendorf. Zitiert in: Steidl und Ringler. 1997b)
- GEIGER W., H. DREISEITL. 1995. Neue Wege für das Regenwasser, Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten, Oldenbourg-Verlag, München.
- GESEMANN, S., B. HAMMER, R. HERTWIG, A. RAUKH UND H. RHODEN. 2005. Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte am Beispiel des Krumhermersdorfer Baches. 58 S., Projektarbeit am Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover.
- Grabaum, R. und B.C. Meyer. 1998. Multicriteria optimization of landscapes using GIS-based functional assessments. In: *Landscape and Urban Planning* 554: 1-14.
- GRABAUM, R. UND B.C. MEYER. 1999. The application of GIS for landscape ecological assessments and multicriteria optimization for a test site near Leipzig. In: Dickau. Hrsg.): *GIS for Earth Surface Systems. Analysis and Modelling the Natural Environment*. 91-108, Berlin.
- GRABAUM, R.. 1996. Verfahren der polyfunktionalen Bewertung von Landschaftselementen einer Landschaftseinheit mit anschließender „Multicriteria Optimization“ zur Generierung vielfältiger Landnutzungsoptionen. Diss. Univ. Leipzig, 83 S., Leipzig.
- GRÄFF, H.-J., 2000. Spatial Planning and Precautionary Measures in Vulnerable Areas, especially behind Defence Works, “Hessisches Ried” Case Study. In: Toensmann, F. und M. Koch (Hrsg.): *River Flood Defence, Volume 2. Kassel Reports of Hydraulic Engineering No. 9/2000, H27-H40*, Herkules Verlag, Kassel.
- GRAUVOGL, M., U. SCHWAB, M. BRÄU UND W. GEIßNER. 1994. Lebensraumtyp stehende Kleingewässer – Landschaftspflegekonzept Bayern, Band II.8. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) und Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) (Hrsg.), 233 S., München.
- GREEN, W.H. UND C.A. AMPT. 1911. Studies on soil physics, I. Flow of water and air through soils. *J. Agric. Sciences* 4: 1-24.
- GREIVING, S.. 2001. Raumordnung, Regionalplanung und kooperative Regionalentwicklung und ihre Aufgaben beim Risikomanagement der Naturgefahr Hochwasser. Vorbeugender Hochwasserschutz auf kommunaler Ebene. Workshop am 13. u. 14. Dezember 2000 in Dresden. 42-54, UBA-Texte 14/01, Berlin.
- GROTH, M. UND J. FREESE. 2006. Ausschreibungen – ein neues Instrument des Vertragsnaturschutzes. In: *Natur und Landschaft* 81 (4): 202-205.
- GÜTHLER, W., A. GEYER, F. HERHAUS, T. PRANTL, G. REEB UND C. WOSNITZA. 2002. Zwischen Blumenwiese und Fichtendickung: Naturschutz und Erstaufforstung. Konfliktlösungsstrategien im Rahmen der EAGFL-Verordnung für den ländlichen Raum. *Angewandte Landschaftsökologie* Heft 45, 133 S., Bonn-Bad Godesberg.

- GÜTHLER, W. UND R. OPPERMAN. 2005. Agrarumweltprogramme und Vertragsnaturschutz weiterentwickeln, Bonn.
- HAARMANN, K. UND P. PRETSCHER. 1993. Zustand und Zukunft der Naturschutzgebiete in Deutschland. Die Situation im Süden und Ausblicke auf andere Landesteile. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz Heft 39, 266 S., Bonn-Bad Godesberg.
- HAASE, G. UND K. MANNSFELD (Hrsg.). 2002. Naturraumeinheiten, Landschaftsfunktionen und Leitbilder am Beispiel von Sachsen. Forschungen zur deutschen Landeskunde Band 250, 214 S., Flensburg.
- HABER, W.. 1993. Wege zur umweltverträglichen Landnutzung in den neuen Bundesländern. Deutscher Rat für Landschaftspflege 63, 5-23, Meckenheim.
- HACH, G. UND W. HÖLTL. 1989. Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung der Wasserrückhalte-, Wasserreinhalte- und Speicherfähigkeit in der Landschaft. In: Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 30 (1): 8-21.
- HACHUM, A.Y. UND J.F. ALFARO. 1980. Rain infiltration into layered soils: prediction. J. Irrig. Drain. Div. 106: 311-319.
- HACHTEL et al.. 2003. Förderung der 20-jährigen Flächenstilllegung, Bonn.
- HAMPICKE, U.. 1996. Perspektiven umweltökonomischer Instrumente in der Forstwirtschaft insbesondere zur Honorierung ökologischer Leistungen, Karlsruhe.
- HAMPICKE, U.. 2003. Ökologische Leistungen von Grenzertragsregionen und ihre „InWertSetzung“, Greifswald.
- HEHL-LANGE, S.. 2001. GIS-gestützte Habitatmodellierung und 3D-Visualisierung räumlich-funktionaler Beziehungen in der Landschaft. ORL-Bericht 108/2001, 164 S., Zürich.
- HEILAND, P. UND K. DAPP. 2001. Fortschritte beim vorsorgenden Hochwasserschutz durch die Raumordnung. Nationale und transnationale raumordnerische Ansätze am Beispiel der europäischen Flussgebiete des Rheins und der Oder. In: Raumforschung und Raumordnung 59 (5): 337-350.
- HEILAND, P.. 2002. Vorsorgender Hochwasserschutz durch Raumordnung, interregionale Kooperation und ökonomischen Lastenausgleich. Schriftenreihe WAR 143, 361 S.
- HEINEMEYER, O.. 2004. Kann die konservierende Bodenbearbeitung einen Beitrag zum Klimaschutz leisten? In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Bodenschutz und landwirtschaftliche Bodennutzung – Umweltwirkungen am Beispiel der konservierenden Bodenbearbeitung. UBA-Texte 35/04, 108-115, Berlin.
- HENNINGS, V.. 1994. Methodendokumentation Bodenkunde. Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. 1 Aufl., Hannover Geologisches Jahrbuch, Reihe F, Heft 31
- HENZE, S.. 2005. Beitrag der Regionalplanung zum vorbeugenden Hochwasserschutz in Sachsen. 90 S., Diplomarbeit am Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover.
- HERBERT, M.. 2003. Erstaufforstung in Deutschland – Leitvorgaben zur Koordinierung wiederstreitender Flächennutzungen aus Naturschutzsicht. In: Gottlob, T. und H. Englert (Bearb.):

- Erstaufforstung in Deutschland. Referate und Ergebnisse des gleichnamigen Workshops vom 09. und 10. Dezember 2002 in Hamburg. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Arbeitsberichte des Instituts für Ökonomie 2003 /1, 45-56, Hamburg.
- HERRMANN, S.. 1995. Quantifizierung von Nährstoffträgen in Kleinstrukturen einer Löss-Agrarlandschaft. Methodik und Anwendung eines modellanalytischen Ansatzes. Europ. Hochschulschriften Reihe XLII Ökologie, Umwelt und Landespflege, Bd. 20. 239 S., Diss. Univ. Hohenheim, Peter Lang, Frankfurt (Main).
- HILBERT, W. UND H. ILLIG. 1994. Schutz und Erhaltung der Segetalvegetation und ihrer gefährdeten Arten (Ackerwildpflanzenschutz). In: Exc. Bot. Sec. B 31: 1-38.
- HOISL, R., W. NOHL UND P. ENGELHARDT. 2000) : Naturbezogene Erholung und Landschaftsbild. Handbuch. KTBL-Schrift 389, 306 S., Münster.
- HOISL, R., W. NOHL, S. ZEKORN UND G. ZÖLLNER. 1987. Landschaftsästhetik in der Flurbereinigung. Empirische Grundlagen zum Erlebnis der Agrarlandschaft. Materialien zur Flurbereinigung Heft 11, 161 S., München..
- HOLLAND, J.M. UND M.L. LUFF. 2000. The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. In: Pest Manage. Rev. 5: 105-129.
- HOLLAND, J.M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 103. 2004. 1-25.
- HOLLMANN, F.. 2003. Ökonomische Bewertung pflugloser Verfahren im nationalen und internationalen Vergleich. In: Artmann, R. und F.J. Bockisch (Hrsg.) Nachhaltige Bodennutzung – aus technischer, pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht, Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 256, , S. 97-101.
- HOLLMANN, F.. 2004. Der „menschliche Faktor“ bestimmt über den Erfolg. In: Neue Landwirtschaft Heft 3, S. 22-25.
- HOLTAN, H. N. 1970. Representative and experimental basins as dispersed systems. In Symposium on the Results of Research on Representative and Experimental Basins, pp. 112-126, International Association for Scientific Hydrology-Unesco Publication Number 96.
- HOLST, H.. 2003. Moderne Landwirtschaft und Naturschutz, In: Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Grünlandmanagement nach der Umsetzung der Agenda 2000 – Probleme und Perspektiven für Landwirtschaft und Naturschutz - Heft 393, S. 81-87, Berlin.
- HOLST, H. UND D. BOSSERT. 2003. Grünlandnutzung und Milchproduktion – landschaftsökologische und tierethische Aspekte. Greifswald.
- HORLITZ, T.. 1998. Naturschutzszenarien und Leitbilder. Eine Grundlage für die Zielbestimmung im Naturschutz. In: Naturschutz und Landschaftsplanung 30 (10): 327-330.
- HOVESTADT, T., J. ROESER UND M. MÜHLENBERG. 1991. Flächenbedarf von Tierpopulationen als Kriterien für Maßnahmen des Biotopschutzes und als Datenbasis zur Beurteilung von Eingriffen in Natur und Landschaft. Forschungszentrum Jülich GmbH, Berichte aus der Ökologischen Forschung Bd. 1, 248 S., Jülich.

- HOYINGEN-HUENE, J. v. 1983. Die Interzeption des Niederschlags in landwirtschaftlichen Beständen. Schriftenreihe des DVWK, Heft 57 (Einfluß der Landnutzung auf den Gebietswasserhaushalt), S. 1-53
- HUBER, B., M. WINTERHALTER, G. MALLÉN, H.P. HARTMANN, G. GERL, K. AUERSWALD, E. PRIESACK K.-P. SEILER. 2005. Wasserflüsse und wassergetragene Stoffflüsse in Agrarökosystemen. In: Osinski, E., A. Meyer-Aurich, B. Huber, I. Rühling, G. Gerl und P. Schröder (Hrsg.): Landwirtschaft und Umwelt – ein Spannungsfeld. Ergebnisse des Forschungsverbunds Agrarökosysteme München (FAM). 57-98, oekom Verlag, München.
- HÜBLER, K.-H. UND SCHABLITZKI, G., 1991; Volkswirtschaftliche Verluste durch Bodenbelastung in der BRD. Berichte 10/91 des Umweltbundesamtes, Erich Schmidt-Verlag Berlin 1991.
- HUHN, W., M. KNIEVEL, S. KRETSCHMANN UND J. VOB. 2002. Freiraumschutz und landwirtschaftliche Nutzung in Verdichtungsräumen – Widerspruch oder gemeinsame Zielstellung? Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben des SMUL, 200 S., Meißen. http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/f-umweltschutz_9804.html (Stand 15.11.2006)
- IÖR - INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE RAUMENTWICKLUNG E.V., REGIONALER PLANUNGSVERBAND OBERLAUSITZ-NIEDERSCHLESIEIEN UND BRANDENBURGISCHE TECHNISCHE UNIVERSITÄT COTTBUS (BTU) (Hrsg.). 2005. 1. Zwischenbericht zum INTERREG IIIa Projekt „Strategische Umweltprüfung für die Regionalplanung – Entwicklung eines transnationalen Prüf- und Verfahrenskonzeptes für Sachsen, Polen und Tschechien. 132 S., Dresden. http://www.tu-dresden.de/ioer/PDF/ProjPDF/p165_zwischenbericht_Interreg.pdf (Stand vom 15.11.2006)
- IPS. 2006. Modellbeschreibung STORM, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Hoppegarten. www.sieker.de.
- IPS. 2006a. Flussgebietsmodell und Hochwasserschutzkonzeption für die Oos und den Grobbach, Auftraggeber: Stadt Baden-Baden, Fachbereich Planen und Bauen, Fachgebiet Tiefbau, Projektleitung: H. Sieker, Bearbeiter: D. Wilcke, F. Jakobs, A. Deckert, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, unveröffentlicht.
- JARVIS N.J., P.E. JANSSON, P.E. DIK UND I. MESSING. 1991. Modelling water and solutetransport in macroporous soil I. Model description and sensitivity analysis. J. Soil Sci. 42: 59-70.
- JIN, Z.. 2005. Development of a Transparent Knowledge-Based Spatial Decision Support System for Decentralised Stormwater Management Planning. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Universität Hannover.
- JIN, Z., F. SIEKER, S. BANDERMANN UND H. SIEKER. 2005. Development of a GIS-based expert system for on-site storm water management, 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August 2005.
- JOSSI, W. et al.. 2004. Umwelt Einfluss der Bewirtschaftung auf die Nutzlingsfauna, In: AgarForschung, S. 98-103.
- KAMPE, D.. 2002. Handlungsschwerpunkte von Raumordnung und Städtebau zur langfristig vorbeugenden Hochwasservorsorge. Positionspapier Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Abteilung I Raumordnung und Städtebau. Bonn.

- KAMPRAD, N.. 2006. Erosionsprognose mit dem Simulationsprogramm EROSION 3D. Effektivität eines Maßnahmenkataloges zum dezentralen Hochwasserschutz und des konservierenden Bodenbearbeitungsverfahrens im Einzugsgebiet des Krumhermersdorfer Baches. 52 S., Projektarbeit am Institut für Umweltplanung, Universität Hannover.
- KAULE, G.. 1985. Anforderungen an Größe und Verteilung ökologischer Zellen in der Agrarlandschaft. In: Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 26: 202-207.
- KAULE, G.. 1991. Arten- und Biotopschutz. 2. Auflage, 519 S., Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- KIRSCH-STRACKE, R. UND M. REICH. 2004. Erfassen und Bewerten der Biotopfunktion (Arten und Lebensgemeinschaften). In: v. Haaren, C.(Hrsg.): Landschaftsplanung. 215-247, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- KLADIVKO, E.J.. 2001. Tillage systems and soil ecology. In: Soil Till Res. 61: 61-76.
- KLAUS, D.. 2003. Derzeitiger Arbeitsstand bei der Heuschreckenerfassung in Sachsen – vorläufige Arbeitskarten. Mitteilungen Sächsischer Entomologen Nr. 61, 32 S., Mittweida.
- KLEIN, M.. 2003. Naturschutz und Erstaufforstung: Zielkonflikte unterschiedlicher Flächennutzungsarten. In: Gottlob, T. und H. Englert (Bearb.): Erstaufforstung in Deutschland. Referate und Ergebnisse des gleichnamigen Workshops vom 09. und 10. Dezember 2002 in Hamburg. Arbeitsberichte des Instituts für Ökonomie 2003 / 1, 23-29, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg.
- KLEIN, M. (Bearb.). 1997. Naturschutz und Erstaufforstung. Referate und Ergebnisse der gleichnamigen Fachtagung vom 6.-7. November 1995. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz Heft 49, 117 S., Bonn-Bad Godesberg.
- KLOTZ, S.. 1996. Entwicklung und Erhaltung naturnaher Ökosysteme in der Agrarlandschaft (Brauchentwicklung). In: Henle, K.: Forschungsverbundprojekt REGNAL. Regeneration hochbelasteter Ökosysteme (Landschaften) für eine nachhaltige Landnutzung - der Ballungsraum Leipzig-Halle-Bitterfeld als Modellregion. Abschlussbericht, BMBF-Förderkennzeichen 0339419K, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, 12-17, Leipzig.
- KNAUER, N. UND Ü. MANDER. 1989. Untersuchungen über die Filterwirkung verschiedener Saumbiotop an Gewässern in Schleswig-Holstein. 1. Mitteilung: Filterung von Stickstoff und Phosphor. In: Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 30: 365-376.
- KNAUER, N.. 1993. Ökologie und Landwirtschaft: Situation – Konflikte – Lösungen. 280 S., Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- KNICKEL, K., B. JANSEN, J. SCHRAMEK UND K. KÄPPEL. 2001. Naturschutz und Landwirtschaft: Kriterienkatalog zur „Guten fachlichen Praxis“. Angewandte Landschaftsökologie Heft 41, 152 S., Bonn-Bad Godesberg.
- KOCH, R., D. GRAF, A. HARTUNG, E. NIEMANN UND E. RYTZ. 1989. Ployfunktionale Bewertung von Flächennutzungsgefügen. Wissenschaftliche Mitteilungen 32, IGG Leipzig.
- KORNECK, D. UND H. SUKOPP. 1988. Rote Liste der in der Bundesrepublik Deutschland ausgestorbenen, verschollenen und gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen und ihre Auswertung für den Arten- und Biotopschutz. Schriftenreihe für Vegetationskunde Heft 19, 210 S., Bonn-Bad Godesberg.

- KÖLLER, K. UND LINKE, C., 2001; Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug, 2. neu überarbeitete Auflage, Frankfurt am Main 2001.
- KRETSCHMER, H., H. PFEFFER, J. HOFFMANN, G. SCHRÖDL UND I. FUX. 1995. Strukturelemente in Agrarlandschaften Ostdeutschlands. Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz. ZALF-Bericht Nr. 19, 164 S., Müncheberg.
- KREUTER, T. UND O. NITZSCHE. 2005. Biodiversität sächsischer Ackerflächen. Abschlussbericht zum Projekt „Entwicklung der Biodiversität von Ackerflächen bei umweltgerechtem Ackerbau“. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 10 (9), 97 S., Leipzig.
- KROPF, W.. 1999. Weniger Chemie – höhere Erträge. Landwirtschaft ohne Pflug, Heft 1, S. 14-17.
- KRÖNERT, R.. 1996. Ökologische Folgen der Landnutzung in Agrarlandschaften des Ballungsgebietes Leipzig-Halle-Bitterfeld. In: Henle, K.: Forschungsverbundprojekt REGNAL. Regeneration hochbelasteter Ökosysteme (Landschaften) für eine nachhaltige Landnutzung - der Ballungsraum Leipzig-Halle-Bitterfeld als Modellregion. Abschlussbericht, BMBF-Förderkennzeichen 0339419K, 21-62, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Leipzig.
- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. 2002. Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/2003, 18. Auflage, Darmstadt 2002.
- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. 2002a. Bewirtschaftung großer Schläge, 2. Auflage, Darmstadt 2002.
- LAL, R.. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. In: Soil & Tillage Research 43 (1-2): 81-107.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER. 2004. Richtwertdeckungsbeiträge 2004, Sonderheft B/2004, Hannover.
- LANDESFORSTPRÄSIDIUM SACHSEN. 2003. Mit dem Wald gegen die Flut, Pirna.
- LANDESFORSTPRÄSIDIUM SACHSEN. 2005. Kennzahlen zu Erstaufforstungen (2005), Graupa.
- LAUBMANN, H.. 1998. Die mitteleuropäische Agrarlandschaft als Lebensraum für Heuschrecken (Orthoptera: Saltatoria). Agrarökologie 34, 215 S., Verlag Agrarökologie Bern, Hannover.
- LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. 2000. Wirksamkeit von Hochwasservorsorge- und Hochwasserschutzmaßnahmen, Schwerin. Lange G. und K. Lecher. 1993. Gewässerregulierung, Gewässerpflege, Naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern, Verlag Paul Parey.
- LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. 1992. Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Arbeitskreis Kosten-Nutzen-Untersuchungen in der Wasserwirtschaft.
- LFP - Sächsisches Landesforstpräsidium (Hrsg.). 2003. Mit dem Wald gegen die Flut. Sächsische Forstwirtschaft. 44 S., Pirna.
- LfUG - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.). 1997. Materialien zur Wasserwirtschaft, Talsperren, Wasserspeicher und Rückhaltebecken im Freistaat Sachsen, Radebeul.

- LfUG - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.). 2001. Umweltqualitätsziele auf die Füße stellen. Umweltverträgliche Land- und Flächennutzung. Band III: Land- und Forstwirtschaft. 55 S., Dresden.
- LfUG - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.). 2004. Ereignisanalyse – Hochwasser August 2002 in den Osterzgebirgsflüssen. Materialien zur Wasserwirtschaft 2004, 188 S., Dresden.
- LINK, A.. 1998. Untersuchungsergebnisse zur Mindestbreite von Gras- und Krautsäumen aus floristischer Sicht. In: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (Hrsg.). Einfluß der Großflächen-Landwirtschaft auf die Flora: Kolloquium unter Schirmherrschaft des Thüringer Ministers für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Jena, den 16. April 1998. 72-79, Jena.
- LONDONG D. UND A. NOTHNAGEL (Hrsg.). 1999. Bauen mit dem Regenwasser - Aus der Praxis von Projekten, Internationale Bauausstellung (IBA) Emscherpark, Oldenbourg-Verlag München Wien.
- LÜSCHER, P. UND K. ZÜRCHER. 2003. Waldwirkung und Hochwasserschutz: Eine differenzierte Betrachtungsweise ist angebracht. In: Berichte aus der bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 40, S. 30-33.
- LÜSCHER, P.. 2002. Wald schützt nicht immer vor Hochwasser. Informationsblatt Forschungsbereich Wald Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, S. 1-2.
- MAKALA, M. UND C. MAKALA. 2004. Erfassen und Bewerten der Bioklimatischen Ausgleichsfunktion. In: v. Haaren, C. (Hrsg.): Landschaftsplanung. 192-201, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- MANNSFELD, K. UND H. RICHTER (Hrsg.). 1995. Naturräume in Sachsen. Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Band 238
- MARZELLI, S.. 1994. Zur Relevanz von Leitbildern und Standards für die ökologische Planung. In: Laufener Seminarbeiträge 4/94: 11-23.
- MEIWES, K.-J.. 1993. Beitrag zum Fachgespräch Nitrataustrag in das Grundwasser unter Wald- und Grünlandstandorten. In: Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.): Wald in Wasserschutzgebieten. Ergebnisse aus einem Fachgespräch am 04.06.1992 im Niedersächsischen Umweltministerium. 72-74, Hannover.
- MENDEL, H.-G.. 2000. Elemente des Wasserkreislaufs. Eine kommentierte Bibliographie zur Abflusssbildung. 244 S., Analytica, Berlin.
- MEROT, P., 1999. The influence of hedgerow systems on the hydrology of agricultural catchments in a temperate climate. In: Agronomie 19: 655-669.
- MEYER, B.C., H. MÜHLE UND R. GRABAUM. 2001. Landschaftsbewertung und -optimierung sowie Entwicklung von Szenarien nach der Methode der multikriteriellen Landschaftsoptimierung. In: Mühle, H. (Hrsg.): Einfluss der Landnutzung auf Landschaftshaushalt und Biodiversität in agrarisch dominierten Räumen. UFZ-Bericht Nr. 16/2001, 7-30, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Leipzig.

- MICHAEL, A.. 2001. Anwendung des physikalisch begründeten Erosionsprognosemodells EROSION 2D/3D – Empirische Ansätze zur Ableitung der Modellparameter. Diss. TU Bergakademie Freiberg, Freiburger Forschungshefte C 488: Geoökologie, 147 S., Freiberg.
- MICHAEL, A., J. SCHMIDT UND W. SCHMIDT. 1996. Erosion 2D/3D: Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser. Band II, Parameterkatalog Sachsen. 150 S., Freiberg.
- MKRO - Ministerkonferenz für Raumordnung. 2000. Vorbeugender Hochwasserschutz durch die Raumordnung. Handlungsempfehlungen der Ministerkonferenz für Raumordnung zum vorbeugenden Hochwasserschutz vom 14. Juni 2000.
- MOOG, M. UND G. OESTEN. 2001. Forstwirtschaft in Wirtschaft und Gesellschaft, In: Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege: Kompendium zum Schutz und Entwicklung von Lebensräumen und Landschaft, Landsberg am Lech 2000 mit 16. Ergänzungslieferung August 2005, S. 1-20.
- MUALEM, Y.. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. –In: Water Res. Res. 12: 513-522.
- MÜSSNER, R., O. BASTIAN, M. BÖTTCHER UND P. FINCK. 2002. Gelbdruck „Leitbildentwicklung. In: Plachter, H., D. Bernotat, R. Müssner und U. Riecken: Entwicklung und Festlegung von Methodenstandards im Naturschutz – Ergebnisse einer Pilotstudie. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz Heft 70, 329-355, Bonn-Bad Godesberg.
- NABU - Naturschutzbund Deutschland. 2004. Hecken und heimische Gehölze. Bonn.
- NIEHOFF, D.. 2001. Modellierung des Einflusses der Landnutzung auf die Hochwasserentstehung in der Mesoskala. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam.
- NITZSCHE, O., S. KRÜCK, W. SCHMIDT UND W. RICHTER. 2001. Reducing soil-erosion and phosphate losses and improving soil biological activity through conservation tillage systems. In: Garcia-Torres, L., et al. (Hrsg.) Conservation agriculture a worldwide challenge. I. World congress on conservation agriculture. XUL185 - 189, Cordoba.
- NITZSCHE, O. UND B. ZIMMERLING. 2004. Erosionsminderung durch konservierende Bodenbearbeitung – Potenziale und Perspektiven, In: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Landwirtschaftlicher Bodenschutz in Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 9 (10), 21-31, Leipzig.
- NITSCHE, S. UND L. NITSCHE. 1994. Extensive Grünlandnutzung. Radebeul.
- OSTERBURG, B. UND R. PLANKL. 2002. Agrarumweltprogramme im Rahmen der EU-Politik und ihre Umsetzung in Deutschland. In: Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege: Kompendium zum Schutz und Entwicklung von Lebensräumen und Landschaft, Landsberg am Lech 2000 mit 16. Ergänzungslieferung August 2005, S. 1-12.
- PANEBIANCO, S.. 2002. Raumplanerische Aspekte zur Umsetzung des vorbeugenden Hochwasserschutzes. In: Sieker, F. (Projektleitung): Innovativer Ansatz eines vorbeugenden Hochwasserschutzes durch dezentrale Maßnahmen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sowie der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße. Abschlussbericht zum DBU Projekt AZ 15877, Hannover.

- PANNING, F.. 1999. Mündliche Auskunft zur den Pflegekosten eines Mulden-Rigolen-Systems (Ausschreibungsergebnisse), Dr. F. Panning, Ingenieurgesellschaft Prof. Rudolph und Partner mbH.
- PERL, T., K. AUERSWALD UND R. SCHRÖDER. 1999. Dämpfung und Verminderung des Oberflächenabflusses in Agrarlandschaften durch begrünte Abflussmulden. In: Mitt. Deutschen Bodenkdl. Ges. 91: 1305-1306.
- PESCHKE, G., C. ETZENBERG, G. MÜLLER UND S. ZIMMERMANN. 1999. Das wissensbasierte System FLAB – ein Instrument zur rechnergestützten Bestimmung von Landschaftseinheiten gleicher Abflussbildung. IHI-Schriften, Heft 10,
- PESSEL, S.. 1997. Landschaftsökologischer Hochwasserschutz. Ein Beispiel am Oberlauf des Nierme-Bachsystems. Arbeitsberichte des Fachbereichs Stadtplanung / Landschaftsplanung der Universität Gesamthochschule Kassel, Heft A 125, 59 S., Kassel.
- PLACHTER, H. UND M. REICH. 1994. Großflächige Schutz- und Vorrangräume: eine neue Strategie des Naturschutzes in Kulturlandschaften. In: Veröffentlichungen Projekt „Angewandte Ökologie“ (PAÖ) 8: 17-43.
- PLACHTER, H.. 1992. Grundzüge der naturschutzfachlichen Bewertung. In: Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg 67: 9-48.
- PLACHTER, H.. 1994. Methodische Rahmenbedingungen für synoptische Bewertungsverfahren im Naturschutz. In: Z. Ökologie u. Naturschutz 3 (2): 87-106.
- PLACHTER, H., E. HEIDT, T. KORBUN, R. SCHULZ UND O. TACKENBERG. 2003. Methoden zur Festlegung von Naturschutzziele in Agrarlandschaften. In: Flade, M., H. Plachter, E. Henne und K. Anders (Hrsg.): Naturschutz in der Agrarlandschaft. Ergebnisse des Schorfheide-Chorin-Projektes. 99-138, Quelle und Meyer Verlag GmbH und Co, Wiebelsheim.
- PONIATOWSKI, D. UND T. FARTMANN. 2005. Die Ökologie von Roesels Beißschrecke (*Metriopectera roeselii*) im Feuchtgrünland der Medebacher Bucht (Südwestfalen). In: *Articulata* 20 (2): 85-111.
- PRETTY, J., C. BRETT, D. GEE, R. HINE, C. MASON, J. MORISON, M. RAYMENT, G. VAN DER BIJL UND T. DOBBS. 2002. Externe Kosten in der Landwirtschaft – Herausforderungen für die Politik. In: *Ökologie und Landbau* 30 (122): 19-24.
- RASMUSSEN, K.J. 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil Tillage Res.* 53:3-14.
- RAWLS, W.J. 1983. Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. *Soil Sci.* 135:123-125.
- RAWLS, W.J., D.L. BRAKENSIEK UND B. SONI. 1983. Agricultural management effects on soil water processes, Part I: Soil water retention and Green and Ampt infiltration parameters. *Transactions of the ASAE* 1983: 1747-1751
- RECHENBERG, J.. 2005. Gesetzliche Grundlagen zum vorbeugenden Hochwasserschutz – Vom Fünf-Punkte-Programm zum „Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“. 13 S., Dessau.

- RECK, H.. 1993. Landwirtschaftliche Rückzugsgebiete; Prioritäten im Naturschutz aus faunistischer Sicht. In: Schriftenreihe für Natur und Umweltschutz Heft 9: 23-51.
- RECK, H., S. CASPARI, G. HERMANN, G. KAULE, S. MÖRSDORF, H.R. SCHWENNINGER, J. TREUTNER UND K. WOLF-SCHWENNINGER. 1999. Die Entwicklung neuer Lebensräume auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Ergebnisse eines Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens des Bundesamtes für Naturschutz. Angewandte Landschaftsökologie Heft 21, 119 S., Bonn-Bad Godesberg.
- REICH, M. UND V. GRIMM. 1996: Das Metapopulationskonzept in Ökologie und Naturschutz: Eine kritische Bestandsaufnahme. In: Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 5 (3-4): 123-139.
- REICHHOLF, J.. 1987. Indikatoren für Biotopqualitäten, notwendige Mindestflächengrößen und Vernetzungsdistanzen. In: Wechselseitige Beeinflussung von Umweltvorsorge und Raumordnung. Forschungs- und Sitzungsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung 165, 291-309, Hannover.
- REIF, A. UND R. ACHTZIGER. 2000. Gebüsch, Hecken, Waldmäntel, Feldgehölze (Strauchinformationen). In: Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege: Kompendium zum Schutz und Entwicklung von Lebensräumen und Landschaft, Landsberg am Lech 2000 mit 16. Ergänzungslieferung August 2005, S. 1-45.
- REMBIERZ, W.. 2001. Vorbeugender Hochwasserschutz – Handlungsmöglichkeiten der Gemeinden. Vorbeugender Hochwasserschutz auf kommunaler Ebene. Workshop am 13. u. 14. Dezember 2000 in Dresden. UBA-Texte 14/01, 1-10, Berlin.
- RENGER, M.. 1983. Bodenwasserbewegung in der ungesättigten Zone bei landwirtschaftlichen Flächen und unter Berücksichtigung von Grünland, DVWK-Fortbildungslehrgang, Braunschweig.
- RIECKEN, U.. 1992a. Grenzen der Machbarkeit von „Natur aus zweiter hand“. In: Natur und Landschaft 67 (11): 527-535.
- RIECKEN, U.. 1992b. Planungsbezogene Bioindikatoren durch Tierarten und Tierartengruppen. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 36, 187 S., Bonn-Bad Godesberg.
- RIEDL, U. UND O. GOCKEL. 1996. Hochwasserschutz in der Landschaftsrahmenplanung. In: Garten + Landschaft 106 (1): 23-27.
- RIEDL, U.. 2001. Was können Landschaftsplanung, Naturschutz und Landschaftspflege zum vorbeugenden Hochwasserschutz beitragen? Vorbeugender Hochwasserschutz auf kommunaler Ebene. Workshop am 13. u. 14. Dezember 2000 in Dresden. UBA-Texte 14/01, 55-69, Berlin.
- RIPL, W.. 1995. Management of water cycle and energy flow for ecosystem control: The energy-transport-reaction (ETR) model. In: Ecological Modelling 78: 61-76.
- RÖDER, M. UND B. ADOLPH. 2006. Lokalisierung und Management von Hochwasserentstehungsgebieten. In: Wasserwirtschaft 96 (5): 22-26.
- RÖDER, M. UND C. BEYER. 2002. Abflussbildung und vorbeugender Hochwasserschutz in der Landes- und Regionalplanung. Dargestellt am Beispiel Sachsens. In: Naturschutz und Landschaftsplanung 34 (7): 197-202.

- RÖDER, M.. 1992. Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate für Planungen im Maßstab 1:50.000 – Beispiel des Landschaftsrahmenplans „Sächsische Schweiz“. In: Naturschutz und Landschaftsplanung 24 (2): 54-57
- RÖSER, B.. 1995. Saum- und Kleinbiotope. Ökologische Funktion, wirtschaftliche Bedeutung und Schutzwürdigkeit in Agrarlandschaften. 258 S., ecomed, Landsberg (Lech).
- ROTH, D., H. ECKERT UND M. SCHWABE. 1996. Ökologische Vorrangflächen und Vielfalt der Flächennutzung im Agrarraum – Kriterien für eine umweltverträgliche Landwirtschaft. In: Natur und Landschaft 71 (5): 199-203.
- ROTH, D. UND BERGER, W., 1999; Kosten der Landschaftspflege im Agrarraum 1-18, In: Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege: Kompendium zum Schutz und Entwicklung von Lebensräumen und Landschaft, Landsberg am Lech 2000 mit 16. Ergänzungslieferung August 2005, S. 1-20.
- RÜTER, S. UND M. REICH. 2005a. Hydrological impacts of habitat-networks in agricultural watersheds - Experimental approaches and new perspectives. In: Frede, H.-G. und M. Bach (Hrsg.): Multifunctionality of Landscapes - Analysis, Evaluation, and Decision Support. Abstracts. International Conference May 18-19, 2005, Justus-Liebig-University Giessen, Germany, S. 228.
- RÜTER, S. UND M. REICH. 2005b. Vorkommen und Verbreitung von *Metroptera roeselii* (HAGENBACH, 1822) und *Chorthippus apricarius* (LINNAEUS, 1758) (*Saltatoria*) auf Saumstrukturen in der Agrarlandschaft - am Beispiel des sächsischen Lösshügellandes. In: Mitteilungen Sächsischer Entomologen Nr. 72: 10-18.
- RÜTER, S. UND M. REICH. 2007. Multifunctional measures to combine flood protection and nature conservation in agricultural watersheds. In: Herrmann, Dabbert und Krimly (Hrsg.): Flood protection with stakeholders in small catchments (im Druck).
- RÜTER, S.. 2005. Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche - Aufgabe und Chance für Naturschutz und Landschaftspflege. In: BfN (Hrsg.): Treffpunkt Biologische Vielfalt V. Interdisziplinäre Expertentagung im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt vom 23.-27.08.2004 auf der Insel Vilm, Tagungsband.
- RÜTER, S.. 2006. Modellanalytische Untersuchungen zum Einfluss der Landschaftsstruktur auf die Oberflächenabflussretention. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 108: 75-76.
- RÜTER, S.. 2007. Biotopverbund und Abflussretention in der Agrarlandschaft – Modellanalytische Untersuchungen am Beispiel des sächsischen Lösshügellandes. Diss. Univ. Hannover (in Vorbereitung).
- RÜTER, S., M. LÜLF UND M. REICH. 2006. Planung und Modellierung von dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen auf Grundlage der CIR-Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung. In: Wasserwirtschaft 96 (5): 27-33.
- SRU - DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN. 2004a. Szenarien der Agrarpolitik – Untersuchung möglicher agrarstruktureller und ökonomischer Effekte unter Berücksichtigung umweltpolitischer Zielsetzungen Nr. 37, Berlin, S. 1-192.
- SRU - DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN. 2004b. Umweltgutachten 2004.

- SÄCHSISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN 1997. Die Naturraumkarte des Freistaates Sachsen.
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT. 1999. Die landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete im Freistaat Sachsen. Dresden.
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT. 2001a. Begrünung von Stilllegungsflächen 2001. Dresden.
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT. 2001b. Sächsische Qualitätssaatmischungen für Grünland 2001-2003. 1. Auflage, Dresden.
- SMUL - SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT. 2005a. Umweltgerechte Landwirtschaft 2004, Heft 13 – 10. Jahrgang, Dresden.
- SMUL - SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT. 2005d. Sächsischer Agrarbericht 2004. Dresden.
- SALZMANN, M. UND S. RÜTER. 2007. Zur umweltökonomischen und naturschutzfachlichen Bedeutung der konservierenden Bodenbearbeitung. In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht (zur Veröffentlichung angenommen).
- SANDER, A.. 2004a. Erfassen und Bewerten der Retentionsfunktion. In: v. Haaren, C. (Hrsg.): Landschaftsplanung. 182-192, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- SANDER, A.. 2004b. Ziele und Maßnahmen zur Retentionsfunktion. In: v. Haaren, C. (Hrsg.): Landschaftsplanung. 337-338, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- SAUNDERS, H.. 2000. Bird species as indicators to assess the impact of integrated crop management on the environment: a comparative study. In: Aspects. Appl. Biol. 62: 47-54
- SCHACH, P., 1987; Bewertung von Erosionsschutzmaßnahmen, In: GEWISOLA: Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V. Band 23, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, S. 317-325.
- SCHÄFER, A.. 2002. Ökonomische Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Forst- und Holzwirtschaft, In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht 25, S. 323-347.
- SCHAEFFER, F. UND P. SCHACHTSCHABEL. 1998. Lehrbuch der Bodenkunde. - 14. Aufl., Ferd. Enke, Stuttgart.
- SCHLOTTMANN, P., H. SIEKER, U. ZWEYNERT UND F. SIEKER. 2007. Zielgrößen und Anforderungen an die künftige Regenwasserbewirtschaftung in Neubau-, Erweiterungs- und Sanierungsgebieten, Teil II: Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen dem Konzept der dezentralen Bewirtschaftung und der herkömmlichen Regenwasserableitung im Trennsystem; GWF - Wasser Abwasser, 148, Heft 1, Oldenbourg Industrieverlag, München.
- SCHLUMPRECHT, H.. 2001. Ableitung von naturschutzfachlichen Zielaussagen aus den CIR-Luftbilddaten am Beispiel des Mulde-Lösshügellandes. In: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) (Hrsg.): Die Nutzung der Biotoptypen- und Landnutzungskartierung aus Color-Infrarot-(CIR-)Luftbildern. Anwendungsmöglichkeiten und Beispiele. Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege 2001, 38-57, Dresden.
- SCHMIDT, J.. 1991. A mathematical model to simulate rainfall erosion. In: Catena Supplement 19: 101-109.

- SCHMIDT, J., M. v. WERNER, A. MICHAEL UND W. SCHMIDT. 1996. EROSION 2D/3D – Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft und Sächsische Landesanstalt für Umwelt und Geologie (Hrsg.), Dresden/Freiburg.
- SCHMIDT, J., M. v. WERNER, A. MICHAEL UND W. SCHMIDT. 1999. Planung und Bemessung von Erosionsschutzmaßnahmen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. In: Wasser und Boden 51 (12): 19-24.
- SCHMIDT, J., W. SCHMIDT, M. v. WERNER UND A. MICHAEL. 2001. Actions Against Soil Erosion at the Single Field and the Catchment Scale Guided by Computer Simulation. In: Scott, D.E., R.H. Mohtar und G.C. Steinhardt (eds.): Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 973-978.
- SCHMUDE, K. UND B. SIEGEL. 2001. Der informelle Plan zum vorbeugenden Hochwasserschutz – ein Beispiel aus dem Flusseinzugsgebiet der Wesenitz / Sachsen. In: Forum Geoökologie 12 (3): 35-40.
- SCHOB, A., J. SCHMIDT UND R. TENHOLTERN. 2004. Derivation of site-related measures to minimise soil erosion on the catchment scale in the Saxonian loess belt using the model EROSION 3D. In: Wöhrle, N. und M. Scheurer: EUROSIL 2004 Abstracts and Full Papers September, 04 – 12 Freiburg/Germany, 10 S., Freiburg.
- SCHRÖDER, M. UND D. WYRWICH. 1990. Eine in Nordrhein-Westfalen angewendete Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildung. In: Dt. Gewässerkundl. Mitt. 34: 12-16.
- SCHRÖDER, R. 2000. Modellierung von Verschlammung und Infiltration in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. Bonner Geographische Abhandlungen, Asgard Verlag St. Augustin.
- Schulla, J. und K. Jasper. 1999. Modellbeschreibung WASIM-ETH, Zürich.
- SCHULZE, R.. 1999. Pfluglose Bodenbearbeitung aus pflanzenbaulicher Sicht. In: Landinfo 5/6: 29-32.
- SCHUMANN, S. UND A. WURZ. 2006. Gebrauch und Grenzen der Evaluation forstlicher Förderung mittels Kosten-Nutzen-Analyse am Beispiel von Aufforstungsprogrammen. In: Forst und Holz 61 (2): 53-58.
- SCHUMACHER, U.. 2001. GIS-Einsatz für den vorbeugenden Hochwasserschutz: eine Fallstudie aus der Region Oberes Elbtal. In: Schenk, M. (Hrsg.): Computergestützte Raumplanung CORP 2001. Beiträge zum 6. Symposium zur Rolle der Informationstechnologie in der und für die Raumplanung, Vienna University of Technology, 137-140, Wien.
- SCHWANECKE, W. UND H.-G. KOCH. 1974. Klimagebiet. In: Atlas der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR, Berlin 1974.
- SCHWERTMANN, U., W. VOGL UND M. KAINZ. 1990. Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Aufl.. 62 S., Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

- SELKER, J.S., J. DUAN UND J. Y. PARLANGE. 1999. Green and Ampt infiltration into soils of variable pore size with depth. In: *Water Resour. Res.* 35: 1685–1688.
- SERVICE D'ÉCONOMIE RURALE. 2005. Gap-Info, 04.01.2005, Luxemburg.
- SEYFARTH, W., M. JOSCHKO, J. ROGASIK, W. HÖHN, J. AUGUSTIN UND S. SCHROETTER (Hrsg.). 1999. Bodenökologische und pflanzenbauliche Effekte konservierender Bodenbearbeitung auf sandigen Böden. ZALF-Bericht Nr. 39, 136 S., Münchberg.
- SIEGEL, B. UND G. RICHTER. 2002. Vorbeugender Hochwasserschutz - ein neues informelles Planungsinstrument. In: *Garten+Landschaft* 112 (8): 21-24.
- SIEGEL, B.. 2001. Der informelle Plan – eine Strategie zur Umsetzung von Maßnahmen zum vorbeugenden Hochwasserschutz – dargestellt am Flusseinzugsgebiet der Wesenitz/Sachsen. Vorbeugender Hochwasserschutz auf kommunaler Ebene. Workshop am 13. u. 14. Dezember 2000 in Dresden. UBA-Texte 14/01, 24-41, Berlin.
- SIEKER, F. (Hrsg.). 1998. Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung, Schriftenreihe Stadtökologie, Band I, Analytica-Verlag.
- SIEKER, F. et al.. 2005. Entwicklung eines Planungsinstrumentes zur flächenbezogenen Regenwasserbewirtschaftung unter besonderer Berücksichtigung des vorbeugenden Hochwasserschutzes. In: *Wasserwirtschaft* 95 (3): 7-14.
- SIEKER, F., U. ZWEYNERT UND H. SIEKER. 2006a. Zielgrößen und Anforderungen an die künftige Regenwasserbewirtschaftung in Neubau-, Erweiterungs- und Sanierungsgebieten Teil I: Die Jahreswasserbilanz als maßgebendes –Planungskriterium, *GWF - Wasser Abwasser*, 147, Heft 10, Oldenbourg Industrieverlag, München.
- SIEKER, F., P. SCHLOTTMANN UND U. ZWEYNERT 2006b. Ökologische und ökonomische Vergleichsbetrachtung zwischen dem Konzept der konventionellen Regenwasserentsorgung und dem Konzept der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung, Teil II: Hydraulisch vollständige Abkoppelungsmaßnahmen in Bestandsgebieten und dezentrale Bewirtschaftungsmaßnahmen in Erweiterungs- und Neubaugebieten, Endbericht zum Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes, FKZ 203 26 391, Hannover.
- SIEKER, F., M. KAISER UND H. SIEKER. 2006c. Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich, Fraunhofer IRB Verlag, 236 S.
- SIEKER, H. 2001. Generelle Planung der Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten. Mitteilungen Institut für Wasserwirtschaft, Technische Universität Darmstadt, Heft 116.
- SISSON, J.B., A. H. FERGUSON UND M. T. VAN GENUCHTEN. 1980. Simple method for predicting drainage from field plots. In: *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1147-1152.
- SIMUMEK, J., M. T. VAN GENUCHTEN UND M. SEJNA. 2005. Code for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably saturated porous media. US Salinity Laboratory, USDA, ARS
- SMUL - SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT. 1999. Leitlinien zu § 10 SächsWaldG.
- SPATZ, G.. 1994. Freiflächenpflege. Stuttgart.

- SRU - DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN. 1985. Sondergutachten „Umweltprobleme der Landwirtschaft“. Bundestagsdrucksache 10/3613 vom 03.07.1985, 423 S., Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart.
- SRU - DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN. 1996a. Sondergutachten: Konzepte einer dauerhaft umweltgerechten Nutzung ländlicher Räume. Deutscher Bundestag, 13/4109. 127 S. Stuttgart.
- SRU - DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN. 1996b. Umweltgutachten 1996 – Zur Umsetzung einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung. 468 S., Deutscher Bundestag, 13/4108, Stuttgart.
- STEIDL, I. UND A. RINGLER. 1997a. Agrotupe (1. Teilband) – Landschaftspflegekonzept Bayern, Band II.11. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) und Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) (Hrsg.), 254 S., München.
- STECKER, A.. 1997. Anwendung der Mulden-Rigolen Kombination zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung in urbanen Entwässerungssystemen, Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz, Band 16, SUG-Verlag, Hannover.
- STEIDL, I. UND A. RINGLER. 1997b. Agrotupe (2. Teilband) – Landschaftspflegekonzept Bayern, Band II.11. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) und Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) (Hrsg.), 360 S., München.
- STEIN, O.R., W.H. NEIBLING, T.J. LOGAN UND W.C. MOLDENHAUER. 1986. Runoff and soil loss as influenced by tillage and residue cover. In: Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1527-1531.
- STERN, K.. 1990. Wirkung der großflächigen Landbewirtschaftung in der DDR auf Flora, Fauna und Boden. Giessener Abhandlungen zur Agrar- und Wirtschaftsforschung des europäischen Ostens. Band 174, 248 S., Berlin.
- SÜDZUCKER AG. 2002. Innovative Bodenbearbeitung. Mannheim/Ochsenfurt.
- TEBRÜGGE, F.. 2000. Visionen für die Direktsaat und ihr Beitrag zum Boden-, Wasser- und Klimaschutz. Gießen.
- TEBRÜGGE, F.. 2003. Konservierende Bodenbearbeitung gestern, heute, morgen – von wendender über nicht wendende Bodenbearbeitung zur Direktsaat, In: Altmann, R. und F. J. Bockisch. (Hrsg.). Nachhaltige Bodennutzung – aus technischer pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 256, Braunschweig, S. 49-58.
- THIEL, E. UND W.A. SCHMIDT. 2005. Verbesserte Ansätze für Wasser- und Stoffstrommanagement in intensiv genutzten kleinen Einzugsgebieten auf der Grundlage von integrierten Nutzen- und Risikobewertungen (wsm300). Abschlussbericht Teilprojekt Fallstudie Trinkwassertalsperre Saidenbach (Erzgebirge). Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), 148 S., Leipzig.
- THIEL, E.. 2004. Einzugsgebietsbezogene Abschätzung der Sediment- und partikelgebundenen Phosphorfrachten von landwirtschaftlichen Nutzflächen mit Hilfe des Modells EROSION 3D, Beispiel Talsperre Saidenbach. In: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

- (Hrsg.): Landwirtschaftlicher Bodenschutz. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 9 (10), 65-77, Leipzig.
- TIETJE, O. UND V. HENNINGS. 1996. Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedo-transfer functions compared to the variability within FAO textural classes. In: Geoderma 69: 71–84.
- UHL, M.. 1993. Genauigkeit von Messungen - Grundlagen und Beispiele aus der Stadtentwässerung, Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz, Band 7, SUG-Verlag, Hannover.
- UHLENBROOK, S.. 1999. Untersuchung und Modellierung der Abflußbildung in einem mesoskaligen Einzugsgebiet. Freiburger Schriften zur Hydrologie Band 10, 201 S., Freiburg.
- UBA - UMWELTBUNDESAMT. 2001a. Klimaschutz-Hintergrundinformationen: Senken. Berlin.
- UBA - UMWELTBUNDESAMT. 2001b. Emissionen der Tierhaltung – Kurzfassung der Tagungsbeiträge (Kloster Banz Dezember 2001). Berlin.
- UBA - UMWELTBUNDESAMT. 2003. Berücksichtigung von Umweltgesichtspunkten bei Subventionen – Sektorstudie Agrarwirtschaft. Berlin.
- USDA. 2006. Keys to Soil Taxonomy, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Tenth Edition
- VAN DEN BYGAART, A.J., C.A. FOX, D.J. FALLOW UND R. PROTZ. 2000. Estimating earthworminfluenced soil structure by morphometric image analysis. In: Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 982-988.
- VAN GENUCHTEN, M.T.. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. In: Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898.
- V. HAAREN, C. UND E. FREYTAG. 1999. Erarbeitung von konkretisierten Vorschlägen zu inhaltlich-methodischen Mindeststandards/Fachkonventionen für die Entwicklung von naturschutzfachlichen Leitbildern auf der Ebene des Landschaftsrahmenplanes und des Landschaftsplanes. Unveröff. Gutachten.
- V. HAAREN, C. UND T. HORLITZ. 1993. Naturraumpotentiale für die Landschaftsplanung – Bilanz und Perspektiven. In: Institut für Landschaftspflege und Naturschutz (Hrsg.): Querschnittorientierte Landschaftsplanung, integrierter Naturschutz. Hans Langer zum 60ten Geburtstag. Beiträge zur räumlichen Planung 33, 61-76, Hannover.
- V. HAAREN, C. UND T. HORLITZ. 1998. Idealtypische Zielentwicklung in der örtlichen Landschaftsplanung. In: Schriftenreihe im Fachbereich Umwelt und Gesellschaft / Technische Universität Berlin Nr.109: 63-77.
- V. HAAREN, C. UND T. HORLITZ. 2002. Zielentwicklung in der örtlichen Landschaftsplanung. In: Naturschutz und Landschaftsplanung 34 (1): 13-19.
- BATHKE, M., E. BRAHMS, H. BRENKEN, C. V. HAAREN, R. HACHMANN UND J. MEIFORTH. 2003. Integriertes Gebietsmanagement: Neue Wege für Naturschutz, Grundwasserschutz und Landwirtschaft am Beispiel der Wassergewinnungsregion Hannover-Nord. 214 S., Margraf Verlag, Weikersheim.

- V. HAAREN, C.. 1999. Begriffe, Vorgehen und Hierarchien bei der Zielentwicklung im Naturschutz. In: Wiegleb, G., F. Schulz und U. Bröring (Hrsg.): Naturschutzfachliche Bewertung im Rahmen der Leitbildmethode. 15-36, Physica, Heidelberg.
- V. HAAREN, C. (Hrsg.). 2004. Landschaftsplanung. 527 S., Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- V. WERNER, M.. 1995. GIS-orientierte Methoden der digitalen Relieffanalyse zur Modellierung von Bodenerosion in kleinen Einzugsgebieten. Diss. Univ. Berlin, 123 S., Berlin.
- V. WERNER, M. (Bearb.). 2000. Modellgestützte Ableitung hochauflösender digitaler Bodenerosionsprognosekarten für das Einzugsgebiet der Jahna (Ist-Stands-Analyse und Variantenvergleich). Abschlussbericht der Arbeitsgemeinschaft Boden- und Gewässerschutz, 28 S., Freiberg.
- VALERA-HERNANDEZ, F., P.J. REY ZAMORA, A.M. SANCHEZ-LAFUENTE UND J.M. ALCANTARA GAMEZ. 1997. Effect of tillage systems on birds. In: Garcia-Torres L. und P. Gonzalez-Fernandez (eds.): Conservation agriculture: agronomic, environmental and economic bases (in Spanish). Spanish Association for Conservation Agriculture (AEAC/SV), 372 S., Cordoba (ESP).
- VIAUD, V., P. DURAND, P. MEROT, E. SAUBOUA UND Z. SAADI. 2005. Modeling the impact of the spatial structure of a hedge network on the hydrology of a small catchment in an temperate climate. In: Agricultural Water Management 74: 135-163.
- WALTER, R., H. RECK, G. KAULE, M. LÄMMLE, E. OSINSKI UND T. HEINL. 1998. Regionalisierte Qualitätsziele, Standards und Indikatoren für die Belange des Arten- und Biotopschutzes in Baden-Württemberg: Das Zielartenkonzept – Ein Beitrag zum Landschaftsrahmenprogramm des Landes Baden-Württemberg. In: Natur und Landschaft 73 (1): 9-25.
- WEGENER, U.. 2001. dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zückerrübenfruchtfolgen – Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Göttingen.
- WEINMEISTER, W.. 2003. Fähigkeiten des Waldes zur Verminderung von Hochwasser und Erosionsschäden, In: Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (LWF). Hochwasserschutz im Wald. Berichte aus der bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nummer 40, 15-29, Freising.
- WERNER, W. UND H. P.WODSAK. 1994. Stickstoff- und Phosphateintrag in die Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragungsgeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR. Schriftenreihe Agrarspektrum, Band 22, Verlagsunion Agrar, Frankfurt (Main).
- WEST, T.O. UND G. MARLAND. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. In: Agric. Ecosyst. Environm. 91: 217-232.
- WICKENKAMP, V.. 1995. Flächendifferenzierte Erosions-Akkumulationsmodellierung im Gebiet Melde (Niedersachsen) unter Einsatz des Geoökologischen Informationssystems GOEKIS. Diplomarbeit an der Universität Hannover.
- WIEGLEB, G., J. VORWALD UND U. BRÖRING. 1999. Synoptische Einführung in das Thema „Bewertung im Rahmen der Leitbildmethode“. In: Wiegleb, G., F. Schulz und U. Bröring (Hrsg.): Naturschutzfachliche Bewertung im Rahmen der Leitbildmethode. 1-14, Physica, Heidelberg.

- WILHELM, J.. 2000. Ergebnisse einer Ausgaben-Wirksamkeits-Analyse der Agrarumweltprogramme, In: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) (Hrsg). Agrarumweltprogramme – Konzepte, Entwicklungen, künftige Ausgestaltung. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 231, Braunschweig.
- WINKEL, G. UND K.-R.VÖLZ. 2005. Forstwirtschaft und Naturschutz in Deutschland Eine forstpolitische Analyse und Bewertung. In: Natur und Landschaft 80: 447-448.
- WBGU - WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (). 1999. Welt im Wandel. Umwelt und Ethik Sondergutachten 1999. Marburg.
- WOHLRAB, B., H. ERNSTBERGER, A. MEUSER UND V. SOKOLLEK. 1992. Landschaftswasserhaushalt: Wasserkreislauf und Gewässer im ländlichen Raum; Veränderungen durch Bodennutzung, Wasserbau und Kulturtechnik. 352 S., Verlag Paul Parey, Hamburg.
- WOOLHISER, D.A., R.E. SMITH UND J.-V. GIRALDEZ. 1996. Effects of spatial variability of saturated hydraulic conductivity on Hortonian overland flow. In: Water Resources Research 32: 671-678.
- ZACHARIAS, S. UND K. BOHNE. 1997. Replacing the field capacity concept by an internal drainage approach - A method for homogeneous soil profiles. SCIENCES of SOILS, Rel. 2, 1997 - www.hintze-online.com/sos/1997/Articles/Art2
- ZACHARIAS, S.. 2004. Konservierende Bodenbearbeitung und Hochwasserschutz – Bodenphysikalische Aspekte. In: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Landwirtschaftlicher Bodenschutz in Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 9 (10), 53-63, Leipzig.
- ZACHARIAS, S. UND K. BOHNE. 2007. Attempt to a flux-based evaluation of field capacity. J. Plant Nutrition and Soil Sci. (accepted).
- ZACHARIAS, S. UND G. WESSOLEK. 2007. Excluding organic matter content from pedotransfer predictors of soil water retention. Soil Sci. Soc. Am. J.(im Druck)
- ZACHARIAS, S.. 2007. Konservierende Bodenbearbeitung in der hydrologischen Modellierung – Besonderheiten und Erfordernisse. Proc. Tage der Hydrologie, Rostock, 22.-23.03.2007
- ZAHIROVIC, S. et al.. 2001. Einfluss verschiedener Mulchsaatsysteme auf Spinnen in Ackerbohnen – Beständen. In: Mitt. Dtsch. Ges. Alg. Angew. Entomol. 13: 261-264.
- ZANGENMEISTER, C.. 1993. Erweiterte Wirtschaftlichkeits-Analyse (EWA) – Grundlagen und Leitfaden für ein „3-Stufen-Verfahren“ zur Arbeitssystembewertung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Forschung Fb. 676, S.144-150, Dortmund.
- ZIMMERLING, B.. 2004. Beregnungsversuche zum Infiltrationsverhalten von Ackerböden nach Umstellung der konventionellen auf konservierende Bodenbearbeitung. Horizonte Herrenhäuser Forschungsbeiträge zur Bodenkunde Band 15. Diss. Univ. Hannover, 193 S., Der Andere Verlag, Osnabrück.
- ZIMMERLING, B., W. SCHMIDT, O. NITZSCHE UND D. WILCKE. 2002. Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz. Sonderdruck Neue Landwirtschaft 10/2002, 4 S., Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, Berlin.
- ZIMMERLING, B.. 2002. Anleitung zur Erstellung betrieblicher Erosionsschutzkonzepte. Leipzig.

ZIMMERMANN, U.. 2005. Integrierte Siedlungswasserwirtschaftliche Planung. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie, Universität Hannover.

Gesetze, Richtlinien und Verordnungen

- Baugesetzbuch (BauGB) v. 23.06.1960, zul. geänd. d. Art. 21 G v. 21.06.2005, BGBl I, 181
- Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) i. d. F. v. 25.03.2002, BGBl. I, 1193, zul. geänd. d. Art. 40 G v. 21.06.2005, BGBl. I, 1818
- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) v. 17.03.1998, BGBl. I, 502, zul. geänd. d. Art. 3 G v. 09.12.2004, BGB1. I, 3214
- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) v. 27.07.1957, BGBl. I, 1110, 1386, neu gef. D. Bek. V. 19.08.2002 BGBl. I, 3245, zul. geänd. d. Art. 2 G v. 25.06.2005, BGBl. I, 1746
- Gesetz zur Raumordnung und Landesplanung des Freistaates Sachsen (Landesplanungsgesetz - SächsLPIG) v. 14.12.2001, i. d. F. v. 30.11.2002, SächsGVBl., 716
- Raumordnungsgesetz (ROG) v. 18.08.1997, BGBl. I, 2081, zul. geänd. d. Art.2b G v. 25.06.2005, BGBl. I, 1746
- Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (FFH-Richtlinie), ABl. EG Nr. L 206/7 v. 22.07.92, geänd. d. Richtlinie 97/62/EG des Rates v. 27.10.1997, ABl. EG Nr. L 305/42, geänd. d. VO (EG) 1882/2003 des Europ. Parlaments u. des Rates vom 29.09.2003, ABl. EG Nr. L 284/1 v. 31.10.2003
- Sächsisches Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (SächsNatSchG) v. 11.10.1994, SächsGVBl., 1601, rechtsber. m. St. v. 01.01.2006
- Sächsisches Wassergesetz (SächsWG) v. 18.10.2004, Sächs GVBl., 482

Pläne und Programme

- RPV Chemnitz-Erzgebirge - Regionaler Planungsverband Chemnitz-Erzgebirge (2002): Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge. Beschl. d. Sitzung v. 15.10.1999, i. d. F. gem. Genehmigungsbeschr. v. 30.07.2001, zul. geänd. d. Beschr. v. 06.11.2001, öff. bek. gem. u. i. Kraft getreten am 12.09.2002.
- RPV Oberes Elbtal-Osterzgebirge - Regionaler Planungsverband Oberes Elbtal-Osterzgebirge (2001): Regionalplan Oberes Elbtal-Osterzgebirge. Beschl. d. Sitzung v. 08.12.1997, i. d. F. gem. Genehmigungsbeschr. v. 31.08.1999, zul. geänd. d. Beschr. v. 14.11.2000, öff. bek. gem. am 26.03.2001, verbindlich seit 03.05.2001.
- RPV Südwestsachsen - Regionaler Planungsverband Südwestsachsen (2002): Regionalplan Südwestsachsen. Beschl. d. Sitzung v. 14.12.2000, i. d. F. gem. Genehmigungsbeschr. v. 28.01.2002, zul. geänd. d. Beschr. v. 06.06.2002, öff. bek. gem. u. i. Kraft getreten am 27.12.2002.

RPV Westsachsen - Regionaler Planungsverband Westsachsen (2001): Regionalplan Westsachsen. Beschl. d. Sitzung d. Reg. Planungsverbandes v. 26.06.1998, zul. geänd. d. Beschl. v. 14.09.2001, i. d. F. gem. Genehmigungsbeschl. v. 15.03.2001, zul. geänd. d. Beschl. v. 30.08.2001, öff. bek. gegeb. am 13.11.2001, verbindl. seit 20.12.2001.

SMI - Sächsisches Staatsministerium des Innern (2003): Landesentwicklungsplan Sachsen 2003. 105 S., Dresden.

Internetquellen

AGDW - Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzerverbände. 2000. Forstwirtschaft schützt Klima, Umwelt und Natur – Forstwirtschaft schont Ressourcen, www.waldbesitzerverbaende.de/w-6.htm, 04.11.2005. Agrarforschung. 2005. Direktsaat und Pflug im 10-jährigen Systemvergleich, http://www.agrarforschung.ch/de/inh_det.php?id=996, 04.07.2005.

ABS - Agrar-Beratungs-Service.() 2005. Konservierende Bodenbearbeitung – Ein Beitrag zur natürlichen Bodenfruchtbarkeit, www.abs.at./kons_bodenbea.htm, 13.01.2005.

Agroscope FAL Reckenholz Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau. 2004. Langzeitvergleich Direktsaat – Pflug auf ÖLN-Betrieb, <http://www.reckenholz.ch/doc/de/forsch/landbau/system/direktsaat.html>, 04.07.2005.

ANL - Amt für Natur und Umwelt Graubünden. 2005a. Was nützen Hecken, www.anl.gr.ch/Natur_u_Landschaft/Lebensraeume/hecken1.htm, 22.06.2005.

ANL - Amt für Natur und Umwelt Graubünden. 2005b. Was sind Hecken, www.anl.gr.ch/Natur_u_Landschaft/Lebensraeume/hecken2.htm, 22.06.2005.

ANL - Amt für Natur und Umwelt Graubünden. 2005c. Hecken wollen gepflegt sein, www.anl.gr.ch/Natur_u_Landschaft/Lebensraeume/heckenpflege.htm, 22.06.2005.

Biologische Station Gütersloh/Bielefeld e.V.. 2005. 89 Hecken und Feldgehölze, www.biostation-gt-bi.de/artenschutz/html/88-hecken-und-feldgehoeelze.html, 22.06.2005.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2004. Hochwasser und Landwirtschaft, Hintergrundpapier vom 4. Mai 2004, www.bmu.de/gewaesserschutz/doc/5889.php, 09.07.2005.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2002. 5-Punkte-Programm der Bundesregierung: Arbeitsschritte zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes, <http://www.bmu.de/gewaesserschutz/doc/3114.php>, 22.08.2005.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2000. Anforderungen an eine nachhaltige land- und Forstwirtschaft Statement beim Workshop „Nachhaltigkeit – Leitbild der land- und Forstwirtschaft“ des Deutschen Bauernverbandes am 29./30. März 2000 in Berlin, www.bmu.de/reden/archiv/bundesumweltminister_juergen_trit-tin/doc/314.php, 26.09.2005.

BMVEL - Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (). 2006. Betriebsprämien – Durchführungsverordnung, http://www.bmelv.de/nn_751436/SharedDocs/Gesetzestexte/B/Betriebspraemiendurchfuehrungsverordnung.html__nnn=true, 31.07.1006.

- BMVEL - Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft). o.A.. Grundsätze und Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung, www.verbraucherministerium.de/indexEAAA8D35C9B440D0BC96-D7D552FFF621.html, 10.02.2005.
- BMVEL - Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (. 2005a. Pressemitteilung Nr. 240 am 1. September 2005 – Berninger zieht Erfolgreiche Zwischenbilanz der Charta für Holz, <http://www.verbraucherministerium.de/index-000976F71C5413188FE76521C0A8D816.html>, 04.11.2005.
- BMVEL - Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (). 2005b. Pressemitteilung Nr. 262 am 15. September 2005 – Müller: Wald ist die Energiequelle der Zukunft, <http://www.verbraucherministerium.de/index000DA75E57C4132982A56521C0A8D-816.html>, 04.11.2005.
- Derpsch, R.. 2005. Direktsaat, <http://www.rolf-derpsch.com/>, 09.07.2005.
- Deutsche Saatenveredelung. 2003. Konservierende Bodenbearbeitung ökonomisch richtig bewerten, www.dsv-saaten.de/content.php?f,/o,article,14/, 13.01.2005.
- Deutsche Saatenveredelung. 2003. Konservierende Bodenbearbeitung ökonomisch richtig bewerten, www.dsv-saaten.de/content.php?f,/o,article,14/, 13.01.2005.
- Deutsche Wildtier Stiftung. 2005. Flächenstilllegungen Neue Lebensräume für Wildtiere, www.deutschewildtierstiftung.de/content_s1.php?f,10112,10126,10130,10809/, 28.11.2005.
- Die Europäische Kommission. 2006. Landwirtschaft und Umwelt, www.europa.eu.int/comm/agriculture/envir/index_de.htm, 20.02.2006.
- Die Europäische Kommission. 2006a. Landwirtschaft und Umwelt: Integration von Umweltschutzanforderungen in die GAP, http://ec.europa.eu/agriculture/envir/index_de.htm, 09.10.2006.
- DMK - Deutsches Maiskomitee e.V.. 2001. Pfluglos Wirtschaften – erfolgreich auch im Mais, www.maiskomite.de/fb_service/05_02_01_com.htm, 04.07.2005.
- ECAF - European Conservation Agriculture Federation. 2005a. Konservierende Landbearbeitung: Ökonomische Vorteile, www.ecaf.org/aleman/Economic.htm, 10.03.2005.
- ECAF - European Conservation Agriculture Federation. 2005b. Zusammenfassung www.ecaf.org/aleman/Economic.htm, 10.03.2005.
- ECAF - European Conservation Agriculture Federation. 2005c. Konservierende Bodenbearbeitung in Europa, Ökonomische Vorteile, www.ecaf.org/aleman/First.html , 10.03.2005.
- Erlach, F. et al.. 2004. Gewässerbelastung läßt sich reduzieren, http://www.versuchsgutmerklingsen.de/Publikationen/Themen_bzw_Fachbezogene_Veroeffentlichungen/Erlach.pdf, 29.06.2005.
- Europäische Umweltagentur. 2003. Die Umwelt in Europa – der dritte Lagebericht http://reports.de.eea.eu.int/environmental_assessment_report_2003_10-sum/de/kiiev_de.pdf, 09.07.2005.

- FAL - Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. 2001. Tagung über die Entwicklung und künftige Ausgestaltung der Agrarumweltprogramme in der Bundesforschungsanstalt (FAL) (Kurzfassung), www.bal.fal.de/download/Agrarumweltprogramme.pdf, 20.02.2006.
- FAL - Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. 2004. Bessere Bodenstruktur durch konservierende Bodenbearbeitung, www.interconnections.de/cgibin/db_site_1281/id_2038/-dertag_2004-02-23, 13.01.2005.
- Freistaat Sachsen. 2003a. http://www.sachsen.de/de/wu/smwa/wirtschaft/Europa/strukturfonds/bewertung/download/Endbericht_EAGFL-A.pdf, 17.03.2005;
- Freistaat Sachsen. 2003b. http://www.sachsen.de/de/bf/staatsregierung/ministerien-/smi/smi/upload/LEP_Textteil.pdf, 17.03.2005.
- GKB - Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung. 2005. Häufige Fragen, <http://www.gkb-ev.de/konservierende%20BB/konbb-index.html>, 04.07.2005.
- GKB - Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung. 2004. Systemorientiertes Management für konservierende Bodenbearbeitung, www.gkb-ev.de/rueckblick/versammlung.htm, 13.01.2005.
- GKB - Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung.) 2004. Systemorientiertes Management für konservierende Bodenbearbeitung, www.gkb-ev.de/rueckblick/versammlung.htm, 13.01.2005.
- Gronegger, I.. 2004. Naturschutz und Forstwirtschaft in Deutschland, <http://www.goethe.de/kug/ges/umw/thm/de164258.htm>, 04.11.2005.
- Grüning, K.. 2000. Ein großes ökologisches Problem, www.schweizerbauer.ch/news/aktuell/artikel/02244/artikel.html, 10.03.2005.
- Höltermann, A. und G. Oesten. 2001. Der deutsche Wald Ein Begriff macht Karriere Forstliche Nachhaltigkeit, www.lpb.bwue.de/aktuell/bis/1_01/wald06.htm, 26.09.2005.
- Industriellenvereinigung Tirol. 2005. Fixkostendegression, www.iv-tirol.at/asp/index.-asp?page=1, 28.01.2005.
- Informationsdienst Wissenschaft. 2004. Wildtiergerechte Flächenstilllegung – aber wie?, www.idw-online.de/pagers/de/news80258, 28.11.2005.
- Infofarm. 2005a. Fruchtfolge, www.infofarm.de/dsd/virtual_expo/pavillion_160/begriffe.htm, 11.02.2005.
- Infofarm. 2005b. Regeln für Fruchtfolgen, www.infofarm.de/dsd/virtual_expo/pavillion_160/zeit/ff_regeln.htm, 11.02.2005.
- Jilg und Elsässer. 2005. Praxisstudie an der LVVG Aulendorf Weidemilch und Mähstandweide, http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/s/eorrygjn-fkbt16mj7031wx-zqof1t2ct2h/show/1167965_11/LVVG_Projekt_M%C3%A4hstandweide.pdf, 03.01.2006.
- Kanton Zürich. 2005. Bodenphysik - Bodenerosion, <http://www.vol.be.ch/lanat/aul-/d/PUBLIKATIONEN/erosion%20schleichend.pdf>, 27.09.2005.

- Landesjagdverband Hessen e.V.. 2003a. Von der „Flächenstilllegung“ zum „Lebensraum Brache“, www.ljv-hessen.de/wma-pr060603.html, 28.11.2005.
- Landesjagdverband Hessen e.V.. 2003b. Die Zukunft der Flächenstilllegung im Rahmen der Europäischen Agrarpolitik Erste Schlussfolgerungen, www.ljv-hessen.de/wma-pr060603.html, 28.11.2005.
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen 2007, Bodenbearbeitungsverfahren, www.landwirtschaftskammer.com/fachangebot/ackerbau/boden/bodenbearbeitungsverfahren.htm, 16.07.2007.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2003. Struktur der sächsischen Landwirtschaft, www.smul.sachsen.de/de/wu/aktuell/downloads/Agrarbericht_2003_1.pdf, 24.01.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2004a. Wahl der Minderungsstrategien, <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/landwirtschaft/lfl/fachinformationen/pflanzenproduktion/bodenbearbeitung/1643.htm>, 10.06.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2004b. Bewertung der einzelnen Minderungsstrategien, <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/landwirtschaft/lfl/fachinformationen/pflanzenproduktion/bodenbearbeitung/1645.htm>, 10.06.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2005a. Probemahd, http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/3616_3617.htm, 28.11.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2005b. Futterverbrauch der Weidetiere, http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/3616_3618.htm, 28.11.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2005c. Geerntete Futtermittel, http://www.sachsen.de/de/suche/build_frame.php?URL=http%3A%2F%2Fwww.landwirtschaft.sachsen.de%2Fde%2Fwu%2FLandwirtschaft%2Flfl%2Finhalt%2F3616_3617.htm, 28.11.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2005d. Schätzung des Gesamtertrages, http://www.sachsen.de/de/suche/build_frame.php?URL=http%3A%2F%2Fwww.landwirtschaft.sachsen.de%2Fde%2Fwu%2FLandwirtschaft%2Flfl%2Finhalt%2F3616_3617.htm, 28.11.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2005e. Messung der Aufwuchshöhe, http://www.sachsen.de/de/suche/build_frame.php?URL=http%3A%2F%2Fwww.landwirtschaft.sachsen.de%2Fde%2Fwu%2FLandwirtschaft%2Flfl%2Finhalt%2F3616_3617.htm, 28.11.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2005f. Mähstandweide, http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/3530_3533.htm, 05.12.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2005g. Mähstandweide Grünland aktuell, http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/1372_1.pdf, 05.12.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2005h. Definition der konservierenden Bodenbearbeitung, http://www.sachsen.de/de/suche/build_frame.php?URL=http%3A%2F%2F

- 2Fwww.landwirtschaft.sachsen.de%2Fde%2Fwu%2FLandwirtschaft%2Ffl%2Ffachinformationen%2Fpflanzenproduktion%2Fbodenbearbeitung%2F1473.htm, 16.03.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2005i. Wassererosionsgefährdung, http://www.sachsen.de/de/suche/build_frame.php?URL=http%3A%2F%2Fwww.landwirtschaft.sachsen.de%2Fde%2Fwu%2FLandwirtschaft%2Ffl%2Ffachinformationen%2Fpflanzenproduktion%2Fbodenbearbeitung%2F1415.htm, 15.03.2005.
- LfL - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2006. Grünlandpflege, http://www.smul.sachsen.de/flf/publikationen/jsp/inhalt.jsp?seite=detail&pub_id=1525&count=10&navi=88&sort=TITLE&anz=alle&sqla=&sqlb=&von=&suche=F, 31.07.2006.
- Lütke Entrup, N. und M. Schneider. 2003. Konservierende Bodenbearbeitung und Fruchtfolgegestaltung – eine ökonomische Bewertung von Systemen der Bodenbewirtschaftung, http://www.versuchsgut-merklingsen.de/Publikationen/Themen_bzw_Fachbezogene_Veroeffentlichungen/Artikel_KonservierendeBodenbearbeitung.pdf, 29.06.2005.
- NABU - Naturschutzbund Deutschland. 2005. Hecken, www.nabu-glabeck.de/html/hecken.html, 22.06.2005.
- Projekt Hypersoil. 2004. Aktuelle Situation, <http://www.hypersoil.uni-muenster.de-/0/02/02/05.htm>, 09.06.2005.
- Saatenunion. 2005. Der Weg zur Mulchsaat, www.saaten-union.de/index.cfm?cfid=1411043&cfToken=50087948&doc=1663&startid=300, 11.04.2005.
- Sachsen.de. 2005a. Die Planungsdatenbank, <http://www.smul.sachsen.de/BPSPlan/>, 29.08.2005.
- Sachsen.de. 2005b. Winderosionsgefährdung, http://www.sachsen.de/de/suche/build_frame.php?URL=http%3A%2F%2Fwww.landwirtschaft.sachsen.de%2Fde%2Fwu%2FLandwirtschaft%2Ffl%2Ffachinformationen%2Fpflanzenproduktion%2Fbodenbearbeitung%2F1414.htm, 12.04.2005.
- Sächsische Zeitung. 2004. Grünland schützt in Ruppendorf vor Schlamm, http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/organisation/untere_behoerden/landwirtschaft/pirna/download/sz_10122004_verschiedene_artikel_zum_hochwasserschutz_im_weisseritzkreis.pdf, 10.06.2005.
- SDW - Schutzgemeinschaft Deutscher Wald e.V.. 2004. Waldzustandsbericht 2004, www.sdw.de/wald/waschb04.htm, 26.09.2005.
- SDW - Schutzgemeinschaft deutscher Wald e.V.. 2003a. Wald und Hochwasserschutz, http://www.sdw.de/presse_aktuelles/stellungnahmen/by-hochwasser.htm, 22.08.2005.
- SDW - Schutzgemeinschaft deutscher Wald e.V.. 2003b. Wald und Hochwasserschutz Positionspapier der Schutzgemeinschaft Deutscher Wald Landesverband Bayern e.V. vom Oktober 2003, www.sdw.de/presse_aktuelles/stellungnahmen/by-hochwasser.htm, 26.09.2005.
- SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. (2005b. Wald in Sachsen http://www.smul.sachsen.de/de/wu/forsten/index_904.html, 01.12.2005.

- SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. 2005c. Bodenleben, <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/fachinformationen/pflanzenproduktion/bodenbearbeitung/1658.htm>, 27.04.2005.
- SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. 2006. Umweltgerechter Ackerbau, www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/landwirtschaft/agrарumweltmassnahmen/index_646.html, 20.07.2006.
- SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. 2007: Förderprogramme in den Bereichen Umwelt, Landwirtschaft, Ländlicher Raum und Forst, http://www.smul.sachsen.de/de/wu/aktuell/foerderung/5_11.htm
- Strube-Dieckmann. 2004. Anbausysteme für Zuckerrüben im Fokus von Ökonomie, Erosions- und Wasserschutz, <http://www.strube-dieckmann.de/inhalt/download/Coverden-2004.pdf>, 13.01.2005.
- Thoroe, C.. 2005. Welche ökonomischen Perspektiven hat die Forstwirtschaft in Deutschland? Vortrag vom 27.01.2005 in Freiburg - Kurzfassung, www.forst.uni-freiburg.de/fobawi/winterkolloquium/aktuell_05.htm, 04.11.2005.
- Wölfling, M.. 1998. Forschung, Produktivität und Betriebsgröße im Ost-Westvergleich, www.wissenschaftsforschung.de/ JB96-97_203-218.pdf, 28.01.2005.

Persönliche Mitteilungen

- Bräuning, A.. 2005. E-Mail vom 11.04.2005, Dresden.
- Nitzsche, O.. 2005a. E-Mail vom 12.01.2005, Leipzig.
- Nitzsche, O.. 2005b. E-Mail vom 13.07.2005, Leipzig.
- Nitzsche, O.. 2005c. E-Mail vom 31.01.2005, Leipzig.
- Straßburger, A.. 2005. E-Mail vom 20.04.2005, Polderbau, S. 1, o.A.
- Zoher, J.. 2005. E-Mail vom 15.12.2005, Graupa.

12 Öffentlichkeitsarbeit

12.1 Vorträge/Projektpräsentationen

- REICH, M.. 2006. Heuschreckenlebensräume im Spannungsfeld des Hochwasserschutzes. Vortrag auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Orthopterologie am 25.03.2006 in Augsburg.
- REICH, M., S. RÜTER UND S. HENZE. 2006. Naturschutz und Hochwasservorsorge in der räumlichen Planung. Vortrag im Rahmen der Tagung "Vorbeugender Hochwasserschutz und Naturschutz auf landwirtschaftlichen Flächen", Abschlussveranstaltung zum Forschungsvorhaben "Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte - am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen" am 20.09.2006 im Regionalschulamamt Chemnitz.
- RÜTER, S.. 2004. Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche - Aufgabe und Chance für Naturschutz und Landschaftspflege. Vortrag bei der Interdisziplinäre Expertentagung „Treffpunkt Biologische Vielfalt V“ des Bundesamtes für Naturschutz am 24.08.2005 auf der Insel Vilm.
- RÜTER, S.. 2006. Modellanalytische Untersuchungen zum Einfluss der Landschaftsstruktur auf die Oberflächenabflussretention. Posterpräsentation bei der Tagung "Bodenerosion durch Wasser und Wind - Modelle, Gegenmaßnahmen und Nachweismöglichkeiten" der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft / AG Bodenerosion und des ZALF Müncheberg e.V. am 10.-12.05.2006 in der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Leipzig.
- RÜTER, S.. 2006. Biotopverbund als Beitrag zum Hochwasserschutz. Modellanalytische Untersuchungen im sächsischen Lösshügelland. Vortrag im Rahmen der Tagung "Vorbeugender Hochwasserschutz und Naturschutz auf landwirtschaftlichen Flächen", Abschlussveranstaltung zum Forschungsvorhaben "Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte - am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen" am 20.09.2006 im Regionalschulamamt Chemnitz.
- RÜTER, S. 2007. Hochwasserschutz durch Hochwasserminderungsgebiete. Vortrag im Rahmen der Konferenz „Flusslandschaft Elbe? Zwischen Hochwasserschutz und Wasserstraße“ der GRÜNE Fraktion Sachsen am 12.05.2007 in Dresden.
- RÜTER, S. UND M. REICH. 2005. Hydrological impacts of habitat-networks in agricultural watersheds - Experimental approaches and new perspectives. Posterpräsentation bei der internationalen Fachtagung "Multifunctionality of Landscapes - Analysis, Evaluation, and Decision Support" am 18./19.05.2005 an der Justus-Liebig-Universität in Gießen.
- WILCKE, D.. 2006. Umsetzungspotenziale dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen im Einzugsgebiet der Sächsischen Mulde. Vortrag im Rahmen der Tagung "Neue Entwicklungen bei der Regenentwässerung in Siedlungsgebieten und deren mögliche Auswirkungen auf den Hochwasserschutz", Veranstaltung des Forschungsvorhabens "Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte - am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen" in Kooperation mit den Regierungspräsidium Chemnitz am 26.04.2006 im Regionalschulamamt Chemnitz.

- WILCKE, D.. 2006. Wirkung dezentraler Regenwasserbewirtschaftung der bei extremen Niederschlägen am Beispiel der Städten und Gemeinden des Mulde-Einzugsgebietes. Vortrag im Rahmen der Tagung "Neue Entwicklungen bei der Regenentwässerung in Siedlungsgebieten und deren mögliche Auswirkungen auf den Hochwasserschutz", Veranstaltung des Forschungsvorhabens "Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte - am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen" in Kooperation mit den Regierungspräsidium Chemnitz am 26.04.2006 im Regionalschulamts Chemnitz.
- WILCKE, D.. 2006. Hydrologische Auswirkungen von flächenhaften Hochwasserschutzmaßnahmen – Darstellung ausgewählter Modellergebnisse für das Gewässersystem der sächsischen Mulden. Vortrag im Rahmen der Tagung "Vorbeugender Hochwasserschutz und Naturschutz auf landwirtschaftlichen Flächen", Abschlussveranstaltung zum Forschungsvorhaben "Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte - am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen" am 20.09.2006 im Regionalschulamts Chemnitz.
- WILCKE, D. 2006. Handlungsleitfaden zum vorbeugenden Hochwasserschutz auf landwirtschaftlichen Flächen –am Beispiel des sächsischen Muldeinzugsgebietes. Vortrag im Rahmen der Tagung "Vorbeugender Hochwasserschutz und Naturschutz auf landwirtschaftlichen Flächen", Abschlussveranstaltung zum Forschungsvorhaben "Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte - am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen" am 20.09.2006 im Regionalschulamts Chemnitz.
- WILCKE, D., S. ZACHARIAS, UND F. SIEKER. 2006. Senkenpotenzialkarte – ein GIS-basierter Ansatz zur einzugsgebietsweiten Bestimmung der Infiltrations- und Retentionskapazität des Bodens als Beitrag zur Hochwasserverminderung. Beitrag zur Konferenz: „Strategien und Instrumente zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“ , November 23.-25. 2006 in Tangermünde.
- ZWEYNERT, U., D. WILCKE, UND F. SIEKER. 2006. Dezentrale siedlungswasserwirtschaftliche Maßnahmen als Beitrag zum Hochwasserschutz - Größenordnungen potentieller Rückhaltevolumen und deren Auswirkung auf gesamte Flusseinzugsgebiete. Beitrag zur Konferenz: „Strategien und Instrumente zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“, November 23.-25. 2006 in Tangermünde.
- WILCKE, D., 2006. „Preventive flood protection by on-site catchment-wide measures under consideration of nature conservation aspects in the catchment of the river Mulde in Saxony, Germany“ Beitrag zum Workshop „Flood prevention and risk management“, Annual Conference, INTERREG III B CADSES Neighbourhood Programme, Leipzig, 24-25 October.
- WILCKE, D. 2006. Hydrologische Auswirkungen von flächenhaften Hochwasserschutzmaßnahmen – Darstellung ausgewählter Modellergebnisse für das Gewässersystem der sächsischen Mulden. Vortrag im Rahmen des Arbeitstreffen der DWA-Fachgruppe „Vorbeugender Hochwasserschutz“ am 03.11.2006 in Leipzig
- ZACHARIAS, S.. 2004. Konservierende Bodenbearbeitung und Hochwasserschutz – Bodenphysikalische Aspekte. Vortrag auf der Fachveranstaltung „Landwirtschaftlicher Bodenschutz in

- Sachsen“ der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft und des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie am 09.11.2004 in Leipzig,
- ZACHARIAS, S.. 2005. Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte. Vortrag im Rahmen eines Kolloquiums an der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden am 29.08.2005 in Tharandt
- ZACHARIAS, S.. 2005. Konservierende Bodenbearbeitung und Hochwasserschutz – Bodenphysikalische Aspekte und Modellierung. EMTAL- Workshop am 6.-7.10.2005 in Freiberg
- ZACHARIAS, S.. 2006. Hochwasservorsorge in der Landwirtschaft – Hydrologie und Bodenhydraulik. Vortrag im Rahmen eines Kolloquiums an der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden am 17.01.2006 in Tharandt
- ZACHARIAS, S.. 2006. Landwirtschaft und Hochwasserschutz – Bodenphysikalische und Hydrologische Aspekte. Vortrag im Rahmen des PHD-Kolloquiums der TU Freiberg am 26.01.2006 in Freiberg
- ZACHARIAS, S.. 2006. Hochwasserschutz in der Landwirtschaft. Vortrag im Rahmen der Fachveranstaltung „Landwirtschaftlicher Bodenschutz“ der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft am 16.02.2006 in Nossen
- ZACHARIAS, S.. 2006. Landwirtschaft und Hochwasserschutz – Bodenphysikalische und Hydrologische Aspekte. Vortrag im Rahmen des Bodenkundlichen Kolloquiums des Institut für Ökologie der TU Berlin am 02.05.2006 in Berlin
- ZACHARIAS, S.. 2006. Ein Pedotransferkonzept zur Beschreibung der Wasserretention unter Nutzung von Textur und Lagerungsdichte. Vortrag im Rahmen des Arbeitstreffen der DBG Arbeitsgruppe „Bodengefüge“ am Institut für Ökologie der TU Berlin am 30.06.2006 in Berlin
- ZACHARIAS, S.. 2006. Methodische Ansätze zur Ermittlung von Flächen mit hohem Wasserrückhaltepotenzial. Vortrag im Rahmen der Tagung "Vorbeugender Hochwasserschutz und Naturschutz auf landwirtschaftlichen Flächen", Abschlussveranstaltung zum Forschungsvorhaben "Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte - am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen" am 20.09.2006 im Regionalschulamt Chemnitz.
- ZACHARIAS, S.. 2006. Methodische Ansätze zur Ermittlung von Flächen mit hohem Wasserrückhaltepotenzial. Vortrag im Rahmen des Arbeitstreffen der DWA-Fachgruppe „Vorbeugender Hochwasserschutz“ am 03.11.2006 in Leipzig
- ZACHARIAS, S.. 2006. Landwirtschaft und vorbeugender Hochwasserschutz - Ergebnisse des DBU-Projektes „Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche“. Vortrag zur Präsentation der Projektergebnisse vor dem Präsidium der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft am 06.11.2006 in Leipzig
- ZACHARIAS, S.. 2006. Rückhaltepotenziale landwirtschaftlicher Flächen – Ergebnisse des DBU-Projektes „Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche“. Vortrag auf der Landwirtschaftlichen Fachtagung der Initiative Weißeritz-Regio am 08.11.06 in Dippoldiswalde

ZACHARIAS, S.. 2006. Bodenphysikalische Parameter für die hydrologische Modellierung. Vortrag im Rahmen der Präsentation von Projektergebnissen vor den Fachbereichen 4 und 8 der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft am 21.11.2006 in Leipzig

ZACHARIAS, S.. 2006. Landwirtschaft und vorbeugender Hochwasserschutz – Ergebnisse des DBU-Projektes „Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche“. Vortrag im Rahmen der Präsentation von Projektergebnissen vor den Fachbereichen 4 und 8 der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft am 21.11.2006 in Leipzig

12.2 Veröffentlichungen

RÜTER, S.. 2005. Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche - Aufgabe und Chance für Naturschutz und Landschaftspflege. In: BfN (Hg.): Treffpunkt Biologische Vielfalt V. Interdisziplinäre Expertentagung im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt vom 23.-27.08.2004 auf der Insel Vilm, Tagungsband.

RÜTER, S.. 2006. Modellanalytische Untersuchungen zum Einfluss der Landschaftsstruktur auf die Oberflächenabflussretention. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 108: 75-76.

RÜTER, S. 2007. Hochwasserschutz durch Hochwasserminderungsgebiete. Tagungsband zur Konferenz „Flusslandschaft Elbe? Zwischen Hochwasserschutz und Wasserstraße“ der GRÜNE Fraktion Sachsen am 12.05.2007 in Dresden (in Vorbereitung).

RÜTER, S.. 2007. Biotopverbund und Abflussretention in der Agrarlandschaft – Modellanalytische Untersuchungen am Beispiel des sächsischen Lösshügellandes. Diss. Univ. Hannover (in Vorbereitung).

RÜTER, S., M. LÜLF UND M. REICH. 2006. Planung und Modellierung von dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen auf Grundlage der CIR-Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung. In: Wasserwirtschaft 96 (5): 27-33.

RÜTER, S. UND M. REICH. 2005a. Hydrological impacts of habitat-networks in agricultural watersheds - Experimental approaches and new perspectives. In: Frede, H.-G. und M. Bach (Hrsg.): Multifunctionality of Landscapes - Analysis, Evaluation, and Decision Support. Abstracts. International Conference May 18-19, 2005, Justus-Liebig-University Giessen, Germany, S. 228.

RÜTER, S. UND M. REICH. 2005b. Vorkommen und Verbreitung von *Metrioptera roeselii* (HAGENBACH, 1822) und *Chorthippus apricarius* (LINNAEUS, 1758) (*Saltatoria*) auf Saumstrukturen in der Agrarlandschaft - am Beispiel des sächsischen Lösshügellandes. In: Mitteilungen Sächsischer Entomologen Nr. 72: 10-18.

RÜTER, S. UND M. REICH. 2007. Multifunctional measures to combine flood protection and nature conservation in agricultural watersheds. In: Herrmann, Dabbert und Krimly (Hrsg.): Flood protection with stakeholders in small catchments (im Druck).

SALZMANN, M. UND S. RÜTER. 2007. Zur umweltökonomischen und naturschutzfachlichen Bedeutung der konservierenden Bodenbearbeitung. In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht (zur Veröffentlichung angenommen).

WILCKE, D., S. ZACHARIAS, Z. JIN UND F. SIEKER. 2006. GIS-based Expert System for Land Use Planning as a Contribution to Flood Mitigation in: Buhmann, Ervin, Jørgensen, Strobl (Eds.),

Trends in knowledge-based landscape modeling. - Proceedings at Anhalt University of Applied Sciences 2006, S. 46-53, H. Wichmann Verlag, Heidelberg

- WILCKE, D., S. ZACHARIAS UND F. SIEKER. 2006. Senkenpotenzialkarte – ein GIS-basierter Ansatz zur einzugsgebietsweiten Bestimmung der Infiltrations- und Retentionskapazität des Bodens als Beitrag zur Hochwasserverminderung. In Jüpner, R. (Hrsg.) – Beiträge zur Konferenz „Strategien und Instrumente zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“, November 23.-25. 2006 in Tangermünde, Magdeburger Wasserwirtschaftliche Hefte Band 6, Shaker Verlag, Aachen.
- ZWEYNERT, U., D. WILCKE UND F. SIEKER. 2006. Dezentrale siedlungswasserwirtschaftliche Maßnahmen als Beitrag zum Hochwasserschutz - Größenordnungen potentieller Rückhaltevolumen und deren Auswirkung auf gesamte Flusseinzugsgebiete. In Jüpner, R. (Hrsg.) – Beiträge zur Konferenz „Strategien und Instrumente zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“, November 23.-25. 2006 in Tangermünde, Magdeburger Wasserwirtschaftliche Hefte Band 6, Shaker Verlag, Aachen.
- ZACHARIAS, S.. 2004. Konservierende Bodenbearbeitung und Hochwasserschutz – Bodenphysikalische Aspekte. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 10/2004:53-65
- ZACHARIAS, S.. 2005. Konservierende Bodenbearbeitung und Hochwasserschutz - Bodenphysikalische Aspekte und Modellierung. - Proc. EMTAL- Workshop 6.-7.10.2005 in Freiberg, Germany
- ZACHARIAS, S. UND D. WILCKE. 2007. Methodische Ansätze zur Ermittlung von Flächen mit hohem Wasserrückhaltepotenzial. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 19.07:157-165
- ZACHARIAS, S. UND G. WESSOLEK. 2007. Excluding organic matter content from pedotransfer predictors of soil water retention. Soil Sci. Soc. Am. J. 71:43-50
- ZACHARIAS, S. UND K. BOHNE. 2007. Approach to a re-evaluation of field capacity from a soil-hydrological view. J. Plant Nutrition and Soil Sci. (im Druck)

12.3 Studentische Arbeiten

- AUßENDORF, H., K. HENDRICKS, A. LOHEL UND J. SCHOLZ. 2006. Naturschutzfachliche Optimierung von Erosionsschutz-Maßnahmen in intensiv genutzten Agrarlandschaften - am Beispiel der Mockritzer Flur in Sachsen. 167 S., Projektarbeit am Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover.
- BAHR, C. 2006. Hydrologische Modellierung zur Abschätzung des Einflusses einer veränderten Regenwasserbewirtschaftung auf landwirtschaftlichen Flächen und in Siedlungsgebieten auf das Abflussverhalten im Einzugsgebiet der Mulde in Sachsen. 98 S. Diplomarbeit am Fachgebiet Wasserwirtschaft und Hydroinformatik der Technischen Universität Berlin.
- BÜLTMANN, K., E. KOCH, A. MEYER UND G. OBSSEN. 2005. Hochwasserschutz unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte am Beispiel des Klatschbachs. 120 S., Projektarbeit am Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover.

- FRANKE, F.. 2006. Kleinräumige Variabilität ausgewählter bodenphysikalischer Parameter auf Sandböden in Nordwestsachsen – Statistische und geostatistische Auswertung. 93 S., Diplomarbeit im Institut für Geographie der Universität Leipzig.
- GESEMANN, S., B. HAMMER, R. HERTWIG, A. RAUKH UND H. RHODEN. 2005. Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte am Beispiel des Krumhermersdorfer Baches. 58 S., Projektarbeit am Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover.
- HENZE, S.. 2005. Beitrag der Regionalplanung zum vorbeugenden Hochwasserschutz in Sachsen“. 90 S., Diplomarbeit am Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover.
- KAMPRAD, N.. 2006. Erosionsprognose mit dem Simulationsprogramm EROSION 3D. Effektivität eines Maßnahmenkataloges zum dezentralen Hochwasserschutz und des konservierenden Bodenbearbeitungsverfahrens im Einzugsgebiet des Krumhermersdorfer Baches. 52 S., Projektarbeit am Institut für Umweltplanung, Universität Hannover.
- LÜLF, M.. 2004. Die flächendeckende Biotoptypenkartierung als Grundlage für Hochwasserschutzkonzepte. Eine theoretische Untersuchung am Beispiel des Wasserhaushaltsmodells WASIM-ETH und der sächsischen Biotoptypen- und Landnutzungskartierung aus Color-Infrarot-Luftbildern. 125 S., Diplomarbeit am Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover.
- PRANGE, A.. 2005. Der Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf porenstrukturelle und bodenhydraulische Eigenschaften eines Lössstandortes – Beitrag der Landwirtschaft zum Hochwasserschutz. 121 S., Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Leipzig
- SCHMIDT, K.. 2005. Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf die Porenstruktur und bodenhydrologische Parameter unter besonderer Berücksichtigung der Bedeutung für den vorbeugenden Hochwasserschutz. 93 S.; Diplomarbeit am Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau der TU Freiberg
- WILLER, S.. 2006. Abschätzung des Wasserrückhaltepotenzials von Ackerflächen im Bereich der Gemeinde Krippen (Sächsische Schweiz) in Abhängigkeit des Bodenbearbeitungsverfahrens. 82 S.; Diplomarbeit am Institut für Geographie der TU Dresden

13**Anlagen**

Anlage 1 – Maßnahmensteckbriefe

Anlage 2 – Katalog der Umweltqualitätsziele für das Untersuchungsgebiet „EZG Mockritzer Bach“

Anlage 3 – Ökonomie

Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/ff/publikationen/
- Autoren:** siehe Innendeckblatt
- Redaktion:** Dr. Walter-Alexander Schmidt
Fachbereich Pflanzliche Erzeugung
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Tel: 0341/ 9174-116
Fax: 0341/ 9174-111
E-Mail: walter.schmidt@smul.sachsen.de
- Endredaktion:** Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Anne-Christin Matthies-Umhau, Ramona Scheinert, Matthias Löwig
Telefon: 0351/2612-345
Telefax: 0351/2612-151
E-Mail: anne-christin.matthies@smul.sachsen.de
- ISSN:** 1861-5988
- Redaktionsschluss:** Dezember 2007

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.