

SCHRIFTENREIHE

des Lehrstuhls Abfallwirtschaft und
des Lehrstuhls Siedlungswasserwirtschaft

21

Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen
Lehrstuhl Abfallwirtschaft
Lehrstuhl Siedlungswasserwirtschaft

99423 Weimar, Coudraystraße 7

RHOMBOS-VERLAG • BERLIN

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar



**© 2008 RHOMBOS-VERLAG, Berlin
Printed in Germany**

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Impressum

Schriftenreihe der Lehrstühle Abfallwirtschaft und Siedlungswasserwirtschaft
an der Bauhaus-Universität Weimar
9. Jahrgang 2008

Herausgeber

Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen,
Lehrstuhl Abfallwirtschaft, Lehrstuhl Siedlungswasserwirtschaft

Schriftleitung

Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Bidlingmaier
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong

Anschrift:

Bauhaus-Universität Weimar, Coudraystraße 7, D-99423 Weimar

Verlag

RHOMBOS-VERLAG,
Kurfürstenstr. 17, 10785 Berlin
Internet: www.rhombos.de, eMail: verlag@rhombos.de
VK-Nr. 65 859

Druck

dbusiness GmbH, Berlin

ISBN 978-3-938807-90-3

ISSN 1862-1406

**Weiterentwicklung
der stoffbezogenen Maßnahmenplanung
zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie
am Beispiel des Einzugsgebietes der Ilm**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

an der Fakultät Bauingenieurwesen

der

Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Sten Meusel

aus Weimar

Gutachter:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong
2. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Dietrich Borchardt
3. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Hack

Weimar, Februar 2008

Danksagung

Die vorliegende Dissertation bildet einen bedeutenden Teil meiner fachlichen Aufgaben als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Siedlungswasserwirtschaft der Bauhaus-Universität Weimar ab. Sie fasst die Ergebnisse zweier Forschungsprojekte im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen zusammen und baut darauf auf. Finanziert wurde die Dissertation maßgeblich durch ein Stipendium in der Graduiertenförderung des Freistaates Thüringen und Eigenmittel der Professur. Ohne Unterstützung und Hilfe wäre ein Gelingen dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

An erster Stelle sei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong für die Betreuung und das Wecken meines Interesses an diesem spannenden komplexen Themengebiet gedankt.

Ein großes Dankeschön gilt ebenfalls Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Dietrich Borchardt von der Technischen Universität Dresden. Er betreute die Arbeit extern und gab mir wertvolle Anregungen und Hinweise.

Ferner danke ich Herrn Prof. Dr. rer. oec. Dieter Hecht für die wichtigen Anmerkungen aus der Sicht eines Ökonomen und Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Hack für die Bereitschaft zur Erstellung eines Gutachtens.

Ich bedanke mich bei der Vergabekommission der Bauhaus-Universität Weimar für die Gewährung des Stipendiums, das mir eine kontinuierliche Bearbeitung ermöglichte.

Sehr wichtig war die direkte und indirekte Mithilfe der Studierenden, denen ich hiermit recht herzlich danken möchte. Namentlich seien an dieser Stelle Frau Dipl.-Ing. Sandra Kreuter, Herr Dipl.-Ing. Helge Zacharias, Herr Andreas Burzel, Frau Dietlind Jacobs, Herr M.Sc. Hans-Jörg Temann und Herr Dipl.-Kaufm. Stephan Rößler erwähnt.

Für die Anwendung der integrierten Methodik am Einzugsgebiet der Ilm war eine Vielzahl an Daten notwendig, die durch die wasserwirtschaftlichen Behörden und Aufgabenträger der Abwasserbeseitigung in Thüringen und Sachsen-Anhalt zur Verfügung gestellt werden mussten. Für die Kooperationsbereitschaft möchte ich meinen Dank aussprechen.

Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Jan Mauriz Kaub für die kritische Korrektur dieser Arbeit und vor allem für die gemeinsame Zeit an der Professur.

Ich bedanke mich bei meiner Lebensgefährtin Peggy für die Geduld und das große Verständnis für die lange Zeit, die ich ausschließlich vor dieser Arbeit verbrachte und die wir nicht gemeinsam für uns nutzen konnten.

Widmen möchte ich diese Dissertation meinem ehemaligen Kollegen und Oberassistenten Herrn Dr.-Ing. Ralf Englert, der meinen beruflichen Weg von der ersten Studienarbeit bis zur Fertigstellung der Dissertation begleitete, mir in den wichtigsten Situationen zur Seite stand und ohne den diese Arbeit definitiv nicht vor dem Leser dieser Zeilen liegen würde. Danke.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Entwicklung der Gewässerbelastung	1
1.2	Problemstellung	2
1.3	Zielstellung, Vorgehensweise und Abgrenzungen	5
2	Rechtliche Grundlagen	9
2.1	Gewässerschutzrecht der Europäischen Gemeinschaft	9
2.2	EG-Wasserrahmenrichtlinie	11
2.2.1	Ziele und Ausnahmen	11
2.2.2	Bewirtschaftungseinheiten	12
2.2.3	Oberirdische Gewässer	12
2.2.4	Grundwasser	17
2.2.5	Umsetzungsschritte und Fristen	20
2.2.6	Ökonomisches Prinzip	25
2.3	Umsetzung der EG-WRRL in Deutschland	27
2.3.1	Rechtliche Auswirkungen	27
2.3.2	Erstmalige Bestandsaufnahme der Gewässer	28
2.3.3	Überwachungsprogramme und Zustandsklassifizierung ..	31
2.3.4	Überlegungen zu Maßnahmenprogrammen	35
2.4	Zusammenfassung des Kapitels	36
3	Anthropogene stoffliche Gewässerbelastung	39
3.1	Abgrenzung	39
3.2	Immissionsbetrachtung	39
3.2.1	Stoffspezifische Umweltwirkungen	39
3.2.2	Biologische Indikation von Belastungen	41
3.2.3	Belastungen bei Regenwetter	44
3.2.4	Stoffretention im Gewässer	47
3.3	Emissionsbetrachtung	51

3.3.1	Eintragspfade und Belastungsherkunft	51
3.3.2	Quantifizierung der Einträge	52
3.3.3	Unsicherheiten bei der Ermittlung der Einträge	58
3.4	Ökonomische Bewertung	60
3.4.1	Gesamtwert von Umweltgütern	60
3.4.2	Umweltschadenskosten	62
3.4.3	Bewertungsmethoden.....	63
3.4.4	Benefit Transfer	64
3.4.5	Ressourcenkosten.....	67
3.4.6	Diskussion der ökonomischen Bewertungen.....	69
3.5	Zusammenfassung des Kapitels	71
4	Stoffbezogene Maßnahmen	73
4.1	Grundsätze	73
4.2	Kosten-Effektivitäts-Analyse	74
4.3	Maßnahmenkosten.....	77
4.4	Effektivität von Maßnahmen.....	80
4.4.1	Ökologische Wirksamkeit.....	80
4.4.2	Stoffbezogene Wirksamkeit.....	82
4.4.3	Unsicherheiten der Effektivität	84
4.5	Verhältnismäßigkeitsprüfung	85
4.5.1	Arten der Unverhältnismäßigkeit.....	85
4.5.2	Kosten-Nutzen-Analyse	86
4.5.3	Datengrundlage und Relevanz	88
4.6	Maßnahmenkataloge.....	91
4.7	Zusammenfassung des Kapitels	95
5	Bestehende Ansätze zur Maßnahmenidentifizierung	99
5.1	Überblick	99
5.2	Bewertungskriterien	101
5.3	Ermittlung der Ausgangssituation	103
5.4	Defizit- und Belastungsbetrachtung	105
5.5	Technische und ökonomische Maßnahmenanalyse.....	110

5.6	Entscheidungsfindung und Maßnahmenauswahl	115
5.7	Kostenverteilung und Priorisierung.....	117
5.8	Bearbeitungsreihenfolge und Aufwand	119
5.9	Zusammenfassung des Kapitels	121
6	Ableitung einer integrierten Methodik.....	125
6.1	Schlussfolgerungen aus der Literaturrecherche.....	125
6.2	Zielformulierung zur Weiterentwicklung	127
6.3	Beschreibung der Bearbeitungsschritte	128
6.3.1	Schritt 1	128
6.3.2	Schritt 2	130
6.3.3	Schritt 3	137
7	Einzugsgebiet der Ilm	147
7.1	Allgemeine Beschreibung.....	147
7.2	Ergebnisse aus Bestandsaufnahme und Monitoring	149
7.3	Weitere Emissions- und Immissionsdaten.....	155
7.3.1	Abwassertechnische Situation	155
7.3.2	Schmutzfrachtberechnungen.....	156
7.3.3	Bilanzierung diffuser Nährstoffeinträge aus der Fläche.	158
7.3.4	Sonstige Stoffeinträge	161
7.3.5	Ergänzende Informationen	164
8	Anwendung der Methodik und Ergebnisse	167
8.1	„Baseline-Szenario“.....	167
8.2	Identifizierung „grundlegender Maßnahmen“	175
8.2.1	Überblick.....	175
8.2.2	Grundwasser	176
8.2.3	Oberflächengewässer	180
8.2.4	Zusammenstellung der Maßnahmen	190
8.3	Identifizierung „ergänzender Maßnahmen“	192
8.3.1	Überblick.....	192
8.3.2	Grundwasser	192

8.3.3	Defizitanalyse der Oberflächengewässer	196
8.3.4	Versauerung und Versalzung.....	197
8.3.5	Niederschlagsbedingte Belastungen	198
8.3.6	Saprobielle Belastungen.....	205
8.3.7	Trophische Belastungen.....	209
8.3.8	Maßnahmenzusammenstellung und Nutzenbetrachtung ..	218
9	Bewertung und Ausblick	225
9.1	Diskussion der Methodik.....	225
9.2	Diskussion der Ergebnisse.....	231
9.3	Problembetrachtung.....	234
9.4	Möglichkeiten zur Weiterentwicklung	236
10	Zusammenfassung	241
11	Literaturverzeichnis.....	245
12	Anhang	263

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Historische Entwicklung der Gewässerbelastung (BORCHARDT, 2007)	2
Abbildung 1-2:	Ökosystem „Fließgewässer“ und dessen Belastungen (verändert nach BORCHARDT, 1998)	3
Abbildung 1-3:	Einordnung der Dissertation (verändert nach ERBE, 2004).....	5
Abbildung 2-1:	Systematisierung des EG-Gewässerschutzrechts	10
Abbildung 2-2:	Qualitätskomponenten und Kriterien für die Zustandsbewertung eines Oberflächenwasserkörpers...	14
Abbildung 2-3:	Qualitätskomponenten und Kriterien für die Zustandsbewertung eines Grundwasserkörpers (nach 2006/118/EG und 2000/60/EG).....	18
Abbildung 2-4:	Umsetzungsfristen der EG-Wasserrahmenrichtlinie bis 2027	24
Abbildung 2-5:	Verknüpfung und Integration wirtschaftlicher Elemente der EG-WRRL (nach WATECO, 2002)	26
Abbildung 2-6:	Methodik zur Abschätzung der Zielerreichung von Oberflächenwasserkörpern (eigene Darstellung nach LAWA, 2003B)	29
Abbildung 3-1:	Belastungsebenen der biologischen Qualitätskomponenten (verändert nach PODRAZA ET HERING, 2004)	43
Abbildung 3-2:	Gefährdungspotenzial von Regenwassereinleitungen (verändert nach BORCHARDT ET GEFFERS, 1999).....	45
Abbildung 3-3:	Vereinfachte Darstellung der Stoffumwandlungen im Gewässer (KUMMERT ET STUMM, 1992)	48
Abbildung 3-4:	Eintragungspfade anthropogener stofflicher Gewässerbelastungen (verändert nach BMU, 2005)	51
Abbildung 3-5:	Prinzip der stofflichen Defizitermittlung bei frachtbezogener Bilanzierung (schematisch)	54
Abbildung 3-6:	Ansätze für die Schmutzfrachtmodellierung (nach LEINWEBER, 2002).....	57

Abbildung 3-7:	Gegenwärtige Unsicherheiten verschiedener gemessener und modellierter stofflicher Einträge (schematisch).....	60
Abbildung 3-8:	Kategorien des ökonomischen Gesamtwertes (verändert nach KARL ET AL., 2006; UBA, 2007A)	61
Abbildung 3-9:	Bestandteile von Umweltkosten (KARL ET AL., 2006) ...	63
Abbildung 3-10:	Qualität der Benefit-Transfer-Verfahren (MUTHKE, 2001)	66
Abbildung 3-11:	Vereinfachte Darstellung stoffbezogener Ressourcenkosten infolge von Fehlallokation	69
Abbildung 4-1:	Mögliche Einteilung stoffbezogener Maßnahmen	74
Abbildung 4-2:	Zielalternativen bei Kosten-Effektivitäts-Betrachtungen (verändert nach LONDONG ET AL., 2006).....	76
Abbildung 4-3:	Wichtige abwassertechnische Wirkprinzipien in Abhängigkeit von Aggregatzustand und Partikelgröße der Stoffe (MENZEL, 1995)	83
Abbildung 5-1:	Grundlegende Bewertungsschritte zur Beurteilung der Maßnahmenplanung bei der Umsetzung der EG-WRRL.....	101
Abbildung 5-2:	Zuordnung fachlicher Schwerpunkte zu den Bewertungsschritten	102
Abbildung 5-3:	Schematische Einordnung des angenommenen potenziellen Methodenaufwandes	121
Abbildung 6-1:	Vorgehen für das „Baseline-Szenario“ und dessen Eingangsgrößen	130
Abbildung 6-2:	Grundlegendes Vorgehen bei der Defizit- und Belastungsbetrachtung in drei Teilschritten (I, II, III) .	131
Abbildung 6-3:	Bearbeitung des Schrittes „Identifizierung der Belastungen und Abschätzungen der Defizite“ zur Verbesserung des „ökologischen Zustandes“	137
Abbildung 6-4:	Methodik zur stoffbezogenen Maßnahmenanalyse (Schritt 3).....	138
Abbildung 6-5:	Schematische Darstellung eines „Stufenmodells“ zur Abschätzung des monetarisierbaren ökonomischen Bruttonutzens	140

Abbildung 6-6:	Vorgehensweise zur Berücksichtigung von Unsicherheiten stoffbezogener Maßnahmen	143
Abbildung 7-1:	Lage und Abgrenzung des Einzugsgebietes der Ilm (schematisch)	148
Abbildung 7-2:	Typische Landschaften im Bereich der oberen, mittleren und unteren Ilm (Fotografie des Freibachtals von SALZMANN, 1995)	148
Abbildung 7-3:	Skizzierte Niederschlagsbereiche im Ilm-Einzugsgebiet (verändert nach BONGARTZ, 2001)	149
Abbildung 7-4:	Grundwasserkörper im Ilm-Einzugsgebiet	151
Abbildung 7-5:	Netz der operativen Messstellen für Oberflächengewässer im Ilm-Einzugsgebiet (Thüringen)	152
Abbildung 7-6:	Kanalnetz (Beispiel Stadtilm) in KOSIM-MW 6.3	156
Abbildung 7-7:	Teileinzugsgebiete der Ilm zur Bilanzierung diffuser Flächeneinträge	160
Abbildung 7-8:	Schwermetalleinträge im Einzugsgebiet der Ilm bis zum Pegel Niedertrebra (Bezugsjahr 2000; nach FUCHS ET AL., 2002)	163
Abbildung 8-1:	CSB-Emissionen in das Ilm-Einzugsgebiet („Baseline-Szenario“) und Veränderungen zum Bezugsjahr 2006	170
Abbildung 8-2:	N_{ges} -Emissionen in das Ilm-Einzugsgebiet („Baseline-Szenario“) und Veränderungen zum Bezugsjahr 2006	170
Abbildung 8-3:	P_{ges} -Emissionen in das Ilm-Einzugsgebiet („Baseline-Szenario“) und Veränderungen zum Bezugsjahr 2006	170
Abbildung 8-4:	Einzugsgebiete der Schwarza (links) und des Herressener Bachs (rechts)	173
Abbildung 8-5:	Regionalisierte Nitratwerte (TLUG, 2007F) und relevante Gemeinden zur „grundlegenden“ N-Reduktion im Ilm-Einzugsgebiet	177
Abbildung 8-6:	Anteile aus den einzelnen P-Einträgen an der Gesamtbelastung des Stausees Hohenfelden (HERSCHEL, 2005)	184

Abbildung 8-7:	Einzugsgebiet des Stausees Hohenfelden mit Gemeindegrenzen.....	187
Abbildung 8-8:	Einzugsgebiet des Emsenbachs und charakteristische Belastung der Gewässer (am Beispiel des Seenabachs)	187
Abbildung 8-9:	Anteile und Mengen der N_{ges} -Emissionen aus den bekannten Eintragspfaden in den Emsenbach.....	189
Abbildung 8-10:	Regionalisierte Nitratwerte und zugehörige Grundwasserkörper zur Umsetzung der Maßnahmengruppe MG 1	194
Abbildung 8-11:	Abgrenzung der Siedlungsgebiete im EZG des Herressener Bachs.....	200
Abbildung 8-12:	Nachweisergebnisse der statistisch ausgewerteten BSB ₅ -Frachten im Herressener Bach (Siedlungsgebiet Apolda/Nauendorf).....	202
Abbildung 8-13:	Nachweisergebnisse der statistisch ausgewerteten NH_4 -N-Frachten im Herressener Bach (Siedlungsgebiet Apolda/Nauendorf).....	203
Abbildung 8-14:	Einzugsgebiete der Magdel (links) und der Deube (rechts)	206
Abbildung 8-15:	Bilanzierungspunkte und Messpegel der Ilm mit Einzugsgebieten	214
Abbildung 8-16:	Nutzen-Kosten-Gegenüberstellung der „ergänzenden“ stoffbezogenen Maßnahmen im Ilm-Einzugsgebiet	222
Abbildung 9-1:	Schematische Verknüpfung der untersuchten Bearbeitungsschritte zur Aufstellung von Maßnahmenprogrammen	227
Abbildung 9-2:	Reihung der maßnahmenbezogenen Variationskoeffizienten für das Ilm-Einzugsgebiet (Werte bei Standardnormalverteilung).....	229
Abbildung 9-3:	Zeitliche Staffelung einer priorisierten Maßnahmenumsetzung (MEYER, 2008)	237
Abbildung 9-4:	Ganzheitliche Optimierung des Gewässerschutzes (verändert nach LONDONG, 2001)	239

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Zustandsklassifikation nach der EG-WRRL für natürliche Oberflächengewässer	15
Tabelle 2-2:	Prioritäre Stoffe der EG-WRRL und deren Umweltqualitätsnormen für Binnenoberflächengewässer (2006/0129, COD).....	16
Tabelle 2-3:	Zustandsklassifikation der EG-WRRL für Grundwasserkörper	20
Tabelle 2-4:	Definition „grundlegender“ und „ergänzender Maßnahmen“ der EG-WRRL (2000/60/EG).....	22
Tabelle 2-5:	Biologische Verfahren zur Zustandsbewertung für Binnengewässer (Stand: August 2007, nach LAWA, 2005A; LAWA 2006B)	32
Tabelle 2-6:	Physikalisch-chemische Orientierungswerte zur Erreichung des „guten Zustandes“ in Binnengewässern (nach LAWA, 2007 und BMU, 2006).....	34
Tabelle 3-1:	Verschiedene Belastungen und ihre Wirkungen im Gewässer (verändert nach HUPFER ET KLEE BERG, 2004; KUMMERT ET STUMM, 1992; SCHÖN BORN, 1992; LAWA, 1991; NEUMANN ET AL., 1990)....	41
Tabelle 3-2:	Empirische Ansätze zur Berücksichtigung einer Transformation im Fließgewässer.....	50
Tabelle 3-3:	Belastungen in Abhängigkeit der Eintragspfade (erweitert nach BORCHARDT ET AL., 2003).....	52
Tabelle 3-4:	Bewertungsmethoden von gewässerbezogenen Umweltschadenskosten (verändert nach UBA, 2007A).....	64
Tabelle 4-1:	Zuordnung von Maßnahmen und Instrumenten	73
Tabelle 4-2:	Vorrangfaktoren für stoffbezogene Parametergruppen (nach LONDONG ET AL., 2007B)	81
Tabelle 4-3:	Gruppierung von stoffbezogenen Parametern zu Parametergruppen (nach LONDONG ET AL., 2007B)	81

Tabelle 4-4:	Mittlere Wirkungsgrade η_{Param} von verschiedenen Wirkprinzipien behandlungsbezogener Maßnahmen (nach Angaben von BÖHM ET AL., 2002; GRÜNEBAUM, 1993).....	84
Tabelle 4-5:	Studien mit ökonomischer Bewertung der Gewässerqualität in der BR Deutschland.....	89
Tabelle 4-6:	Kategorien der Umweltkosten durch Eutrophierung (nach PRETTY ET AL., 2003)	91
Tabelle 4-7:	Qualitativer Vergleich stoffbezogener Maßnahmenkataloge zur Umsetzung der EG-WRRL....	93
Tabelle 4-8:	Mesoskalige Maßnahmen und Zuordnung zu Maßnahmengruppen (erweitert nach BÖHM ET AL., 2002; GRÜNEBAUM, 1993).....	94
Tabelle 4-9:	Maßnahmenkatalog mit Maßnahmengruppen auf Einzugsgebietsebene (erweitert nach Daten von BÖHM ET AL., 2002, GRÜNEBAUM, 1993	97
Tabelle 5-1:	Studien zur generellen Vorgehensweise bei der Maßnahmenplanung (Stand: Juli 2007)	100
Tabelle 5-2:	Ansätze zur Erkennung und Beseitigung von Defiziten des „ökologischen Zustandes“ und Zuordnung von Belastungen	108
Tabelle 5-3:	Ansätze zur Erkennung und Beseitigung von Defiziten des „chemischen Zustandes“ für Grundwasser.....	108
Tabelle 5-4:	Implementierte Modellansätze zur Quantifizierung und Bilanzierung stofflicher Einträge	110
Tabelle 5-5:	Ansätze für Maßnahmen zur Verringerung diffuser Einträge.....	111
Tabelle 5-6:	Ansätze zu verschiedenen Randbedingungen der ökonomischen Maßnahmenanalyse.....	115
Tabelle 5-7:	Qualitative unterstützende Kriterien und Verfahren zur Maßnahmenauswahl.....	116
Tabelle 5-8:	Kriterien zur Priorisierung der Maßnahmenumsetzung	119
Tabelle 5-9:	Grundlegende Reihenfolge der Anwendung der Bewertungsschritte	120

Tabelle 5-10:	Zusammenfassender Vergleich der untersuchten Studien nach verschiedenen methodischen Aspekten.....	124
Tabelle 6-1:	Matrix zur Nutzenabschätzung stoffbezogener Maßnahmen	142
Tabelle 6-2:	Faktoren f_3 zur Einbeziehung der Modellunsicherheiten	144
Tabelle 6-3:	Faktoren f_6 und f_7 zur Einbeziehung der Nutzenunsicherheiten	146
Tabelle 7-1:	Gewässertypzuordnung des Wasserkörpers „Ilm“ (TMLNU, 2005)	150
Tabelle 7-2:	Ausgewertete Messstellen zur Bewertung des „chemischen Grundwasserzustandes“ (Daten nach TLUG, 2007F)	153
Tabelle 7-3:	Messergebnisse und vorläufige Bewertung des „ökologischen Zustandes“ im Ilm-Einzugsgebiet (TLUG, 2007E)	156
Tabelle 7-4:	Wichtige Parameter und gewählte Ansätze zur Schmutzfrachtberechnung (erweitert nach KREUTER, 2007B; ZACHARIAS, 2007)	157
Tabelle 7-5:	Mittlere Jahresfrachten aus MW-Entlastungen	158
Tabelle 7-6:	Wichtige Daten zur Berechnung mit MOBINEG und deren Herkunft (verändert nach BURZEL, 2007) ..	159
Tabelle 7-7:	Ergebnisse der MOBINEG-Berechnungen für TEZG 1 bis 3 und Vergleich mit MONERIS-Bilanzierung	161
Tabelle 7-8:	Vereinfachte Bestimmung des mittleren Abflussbeiwertes	162
Tabelle 7-9:	Mittlere CSB-, N_{ges} - und P_{ges} -Jahresfrachten aus Teilortskanalisationen und NW-Einleitungen des Trennsystems	162
Tabelle 7-10:	PSM-Einträge im Ilm-Einzugsgebiet bis zum Pegel Niedertrebra (Bezugsjahr 2000; RÖPKE ET AL., 2002)	164

Tabelle 7-11:	Bevölkerungsentwicklung der Städte und Landkreise im Ilm-Einzugsgebiet (BERTELSMANN-STIFTUNG, 2007)	165
Tabelle 8-1:	Berechnung der stofflichen Veränderungen infolge des Neubaus der KA Gräfinau-Angstedt.....	168
Tabelle 8-2:	CSB-, N_{ges} -, P_{ges} -Emissionen aus bestehenden kommunalen Kläranlagen im Jahr 2015 („Baseline-Szenario“; erweitert nach TLUG, 2007C) ..	169
Tabelle 8-3:	Veränderungen der CSB-, N_{ges} - und P_{ges} -Einträge in Schwarza und Herressener Bach.....	173
Tabelle 8-4:	Vereinfachte Zuordnung der Eintragspfade zu TW-Verhältnissen und dem Lastfall bei Gesamteinträgen.....	175
Tabelle 8-5:	Kenngrößen zur Analyse der Maßnahmengruppe MG 1 in den betroffenen Flächen	178
Tabelle 8-6:	Wahl der Unsicherheitsfaktoren zur Nitratreduktion im Grundwasser (MG 1).....	178
Tabelle 8-7:	Kenngrößen zur Analyse der Maßnahmengruppe MG 3a in den Gemeinden Saaleplatte und Apolda.....	179
Tabelle 8-8:	Wahl der Unsicherheitsfaktoren zur PSM-Verringerung im Grundwasser (MG 3a)	180
Tabelle 8-9:	Defizitäre Einleitungen industrieller/gewerblicher Direkteinleiter.....	182
Tabelle 8-10:	Berechnete Nährstoffeinträge aus Ackerland und Wald des EZG Stausee Hohenfelden	185
Tabelle 8-11:	Wahl der Unsicherheitsfaktoren zur Nitratreduktion des Krumbachs und Emsenbachs (MG 1 und MG 4)	188
Tabelle 8-12:	„Grundlegende Maßnahmen“ und Kosten zur Umsetzung des unmittelbaren EG-Gewässerschutzrechts im Ilm-Einzugsgebiet	191
Tabelle 8-13:	Gemeinden oberhalb SAL GW 008 und GW 011 zur „ergänzenden“ NO_3 -Verringerung im Grundwasser.....	194

Tabelle 8-14:	Analyse der Maßnahmengruppe MG 1 in den gemeindebezogenen Räumen für „ergänzende Maßnahmen“ 195	195
Tabelle 8-15:	Prognosematrix der relevanten biologischen Module..... 197	197
Tabelle 8-16:	Berechnungsansätze und -ergebnisse für den vereinfachten hydraulischen und stofflichen Nachweis der RW-Einleitungen..... 201	201
Tabelle 8-17:	Volumenspezifische stoffliche Wirkungen durch den Bau von RBF und RKB (erweitert nach BÖHM ET AL., 2002) 204	204
Tabelle 8-18:	Wahl der Unsicherheitsfaktoren zur Kostenberechnung der Umsetzung von Maßnahme MG 7 am Herressener Bach 205	205
Tabelle 8-19:	Wahl der Unsicherheitsfaktoren zur Kostenberechnung von Maßnahme MG 8 an Deube, Magdel und Herressener Bach 209	209
Tabelle 8-20:	Ansätze zur Unsicherheitsanalyse der „ergänzen- den“ Maßnahmen an Deube, Schwarza, Herressener Bach, Magdel und Emsenbach 216	216
Tabelle 8-21:	Gesamtkosten zur Umsetzung der „ergänzenden Maßnahmen“ an Deube, Schwarza, Herressener Bach, Magdel und Emsenbach 216	216
Tabelle 8-22:	Minimale und maximale Frachtverringerungen aus Umsetzung der „ergänzenden“ Maßnahmen an der Ilm..... 217	217
Tabelle 8-23:	Gesamtkosten zur Umsetzung der „ergänzenden Maßnahmen“ an Deube, Schwarza, Herressener Bach, Magdel und Emsenbach 217	217
Tabelle 8-24:	„Ergänzende Maßnahmen“ u. Kosten zur Erreichung eines „guten Zustandes“ (stoffbezogen) im Ilm-EZG 219	219
Tabelle 8-25:	Übersicht der relevanten Nutzergruppen für eine ökonomische Nutzenbewertung der stoffbezogenen Maßnahmen an der Ilm 220	220

Tabelle 8-26:	Einwohner und WTP für eine verbesserte Gewässerqualität an Herressener Bach, Deube, Magdel, Schwarza und Emsenbach.....	222
Tabelle 9-1:	Streuungsparameter für Gesamtkosten der zusammengefassten Maßnahmen im Ilm-Einzugsgebiet bei Standardnormalverteilung.....	228
Tabelle 9-2:	Zusammenfassung der „grundlegenden“ und „ergänzenden“ projektrelevanten Maßnahmen im Ilm-Einzugsgebiet	232

Abkürzungsverzeichnis

ΔB	Veränderung der Stofffracht
Δc	Veränderung der Stoffkonzentration
ΔEZ	Veränderung der Einwohnerzahl
η	Wirkungsgrad
A	Fläche
A_{red}	Befestigte Fläche
ABK	Abwasserbeseitigungskonzept
AFS	Abfiltrierbare Stoffe
AG	Arbeitsgemeinschaft/Arbeitsgruppe
ALK	Alkalinität
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
ASM	Activated Sludge Model
ASTERICS	AQEM („Assessment system for the quality of streams and rivers throughout Europe using macroinvertebrates“) /STAR („Standardisation of River Classification“) Ecological River Classification System
ATV	Abwassertechnische Vereinigung, jetzt DWA
b	Breite
B	Stofffracht
B-Pläne	Bewirtschaftungspläne
BezReg	Bezirksregierung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BP	Bezugspunkt
BSB ₅	Biochemischer Sauerstoffbedarf innerhalb von fünf Tagen
BT	Benefit Transfer/Nutzentransfer
BW	Baden-Württemberg
BWK	Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau

C-Faktor	Faktor zur Berücksichtigung der Anbaukultur spezifischen Ackerbodenbearbeitung bei der Ermittlung der Stoffeinträge durch Erosion in die Gewässer
Cd	Cadmium
CIS	Common Implementation Strategy
CORINE	„Coordinated Information on the European Environment“
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CVM	Kontingente Bewertungsmethode
De	Entlastungsdauer
DO	Sauerstoffdefizit
diff.	diffus
DN	Diameter Nominal = Nennweite
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
DWD	Deutscher Wetterdienst
E	Einwohner
EC	European Community
EG	Europäische Gemeinschaft
EG-WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG
EW	Einwohnerwert
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
EZG	Einzugsgebiet
$f_1...f_7$	Unsicherheitsfaktoren
FFH	Fauna-Flora-Habitat
FGE	Flussgebietseinheit
FGG	Flussgebietsgemeinschaft
FGSM	Fließgewässer-Gütemodell
fiBS	fischbasiertes Bewertungssystem für Fließgewässer
GEK/GEP	Gewässerentwicklungskonzept/-plan
Gew	Gewässer
GIS	Geografisches Informationssystem
GVE	Großvieheinheit

GW	Grundwasser
GWK	Grundwasserkörper
GWN	Grundwasserneubildung
GWQN	Grundwasserqualitätsnorm
h	Höhe
HQ	Gewässerabfluss bei Hochwasser
IVU	Integrierte Vermeidung und Verringerung der Umweltverschmutzung
J	Gefälle, Neigung
K	Kosten
k.A.	keine Angabe
KA	Kläranlage
KE	Kosten-Effektivität, Kosten-Wirksamkeit
KKA	Kleinkläranlage
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
KOSIM	„Kontinuierliches Simulationsmodell“
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen
KVR	Kostenvergleichsrechnung
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LHW	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
LLFG	Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt
LW	Landwirtschaft
M.	Maßnahme
MEV	Maximale erlaubte Verzerrung
MG	Maßnahmengruppe
MLU S-A	Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss im Gewässer
MOBINEG	„Modell zur Bilanzierung von Nährstoffeinträgen in Gewässern“

MONERIS	„Modelling Nutrient Emissions in River Systems“
MP	Maßnahmenprogramm
MP & PB	Makrophyten und Phytobenthos
MQ	Mittlerer Abfluss im Gewässer \approx durchschnittlicher Abfluss im Gewässer
MRI	„Fisch-Migrationsindex“
MS	Mischsystem
MW	Mischwasser
MZB	Makrozoobenthos
n	Anzahl
N	Nutzen; Stickstoff
n.b.	nicht bekannt, nicht bestimmt
N-A	Niederschlag-Abfluss
N _{ges}	Gesamt-Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
NO ₂ -N	Nitrit-Stickstoff
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
O ₂	Sauerstoff
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OFG	Oberflächengewässer
oh	oberhalb
oPO ₄ -P	Orthophosphat-Phosphor
OWK, OFWK	Oberflächenwasserkörper
P _{ges}	Gesamt-Phosphor
P/R	Produktion/Respiration
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PHYLIB	„Phytobenthos und Makrophyten für ein leitbildbezogenes Bewertungsverfahren“
PI	„Phytoplankton-Index“

PKBW	Projektkostenbarwert
PPP	Purchasing power parities = Kaufkraftparitäten
PSM	Pflanzenschutz- und -behandlungsmittel
q	Abflussspende
Q	Abfluss
QK	Qualitätskomponente
RBF	Retentionsbodenfilter
RI	„Referenz-Index“ für Makrophyten
RKB	Regenklärbecken
RL	Richtlinie
RRB	Regenrückhaltebecken
RÜ	Regenüberlauf
RÜB	Regenüberlaufbecken
RW	Regenwasser
RWQM No. 1	„River Water Quality Model No. 1“
S-A	Sachsen-Anhalt
SI	„Saprobien-Index“ für Makrozoobenthos
SK	Stauraumkanal
SM	Schwermetall
StaLa	Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt
SUA, StUA	Staatliches Umweltamt
SUP	Strategische Umweltprüfung
t	Zeit
T, Temp.	Temperatur
TEV	Total Economic Value = ökonomischer Gesamtwert
TEZG	Teileinzugsgebiet
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
TLS	Thüringer Landesamt für Statistik
TLUG	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie
TMLNU	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt
TOC	Total Organic Carbon = Totaler Organischer Kohlenstoff