

Inhalt

Autoren und Mitwirkende	XIII
1 Klimaverletzlichkeit des Flussgebiets Elbe	1
<i>Frank Wechsung, Bernd Hansjürgens, Volkmar Hartje, Stefan Kaden, Markus Venohr</i>	
1.1 Einführung	2
1.2 Material und Methoden	6
1.2.1 Das Elbeeinzugsgebiet	6
1.2.2 Generelles Vorgehen	7
1.2.3 Bilanzansätze	9
1.2.4 Randbedingungen der Bilanzierung und ihre Projektion	11
1.2.5 Kosten-Analysen	14
1.3 Ergebnisse	16
1.3.1 Klimaprojektionen	16
1.3.2 Sozioökonomische Entwicklung	16
1.3.3 Wasserdargebot und Erträge	19
1.3.4 Wassermengenprobleme	20
1.3.5 Gewässergütekongflikte	24
1.4 Diskussion	27
1.4.1 Klima	27
1.4.2 Entwicklungsrahmen	28
1.4.3 Szenarienfolgen	29
1.4.4 Stadt-Land-Fluss-Relationen der Wassermenge und Wassergüte	29
1.5 Danksagung	30
1.6 Referenzen	31
2 Szenarien des Klimawandels und des sozioökonomischen Wandels	35
2.1 Regionalisierung globaler sozioökonomischer Wandelprozesse für die Wasserwirtschaft – Die Elbe als mittleres Einzugsgebiet in einer Transformationsökonomie	35
<i>Volkmar Hartje, Till Ansmann, Jürgen Blazejczak, Horst Gömann, Martin Gornig, Malte Grossmann, Thomas Hillenbrand, Jana Hoymann, Peter Kreins, Peter Markewitz, Konar Mutafoğlu, Agnes Richmann, Christian Sartorius, Erika Schulz, Stefan Vögele, Rainer Walz</i>	
2.1.1 Einführung	35
2.1.1.1 Das Einzugsgebiet der Elbe	36
2.1.1.2 Analytischer Rahmen	39
2.1.1.3 Stand der Forschung	40
2.1.2 Material und Methoden	43
2.1.2.1 Methodischer Ansatz	43
2.1.2.2 Szenarienentwicklung und -regionalisierung	44
2.1.2.3 Modellgestützte Regionalisierung	47
2.1.2.4 Datengrundlage	50

- 2.1.3 Ergebnisse 51
 - 2.1.3.1 Wirtschaftliche und demografische Entwicklung 51
 - 2.1.3.2 Veränderungen der Landnutzungen 53
 - 2.1.3.3 Entwicklung der Wassernutzungen im Einzelnen 55
 - 2.1.3.4 Zusammenfassung der Wassernutzungen 59
- 2.1.4 Diskussion 61
- 2.1.5 Referenzen 63
- 2.2 Ein meteorologischer Datensatz für Deutschland, 1951–2003 67
 - Hermann Österle, Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe, Peter C. Werner*
 - 2.2.1 Einführung 67
 - 2.2.2 Daten 67
 - 2.2.3 Kontrolle auf Fehlwerte 68
 - 2.2.4 Datenergänzung 68
 - 2.2.5 Homogenitätsanalyse und Homogenisierung den Zeitreihen 69
 - 2.2.5.1 Homogenisierung den Zeitreihen unter Verwendung von Angaben zur Stationsgeschichte 69
 - 2.2.5.2 Homogenisierung von Zeitreihen auf Basis der Differenzreihen zu benachbarten Stationen und der Trendanalyse 69
 - 2.2.5 Referenzen 70
- 2.3 Erstellung und Prüfung eines meteorologischen Tagesdatensatzes von 1951 bis 2003 für den tschechischen Teil des Elbe-Einzugsgebietes 71
 - Hermann Österle, Silke Schmidt, Ylva Hauf, Frank Wechsung*
 - 2.3.1 Einführung 71
 - 2.3.2 Material und Methoden 71
 - 2.3.2.1 Daten 71
 - 2.3.2.2 Qualitätskontrolle 74
 - 2.3.2.3 Homogenisierung der Zeitreihen 75
 - 2.3.2.4 Datenergänzung 77
 - 2.3.2.5 Datenrekonstruktion für den Zeitraum 1951–1960 79
 - 2.3.2.6 Rekonstruktion von Tageswerten aus Monatswerten der Niederschlagsstationen für Datensatz 1 80
 - 2.3.2.7 Erweiterung meteorologischer Parameter der Niederschlagsstationen durch Interpolation 81
 - 2.3.3 Ergebnisse und Diskussion 81
 - 2.3.3.1 Ergebnisse der Homogenitätsanalyse 81
 - 2.3.3.2 Ergebnisse der Datenergänzung 82
 - 2.3.3.3 Rekonstruktion von Tageswerten aus Monatswerten der Niederschlagsstationen 83
 - 2.3.3.4 Tagesdatenreihen Elbe Meteorologie Tschechien S1 und S2 für den Zeitraum 1951–2003 84
 - 2.3.4 Referenzen 84
- 2.4 Modellierung der regionalen Klimaentwicklung 85
 - Peter C. Werner, Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe, Hermann Österle, Boris Orłowsky, Martin Wodinski*
 - 2.4.1 Einführung 85
 - 2.4.2 Material und Methoden 86
 - 2.4.2.1 Das Modell STAR II 86
 - 2.4.2.2 Validierung des Modells STAR II 90
 - 2.4.3 Ergebnisse 97
 - 2.4.4 Diskussion 109
 - 2.3.4 Referenzen 110

2.5 Szenarien zur Demografie und Ökonomie	111
<i>Jürgen Blazejczak, Martin Gornig, Erika Schulz, Christiane Schäpel</i>	
2.5.1 Einführung	111
2.5.2 Material und Methoden	113
2.5.2.1 Entwicklungsrahmen für das Elbeeinzugsgebiet	113
2.5.2.2 Komponenten von REGE	113
2.5.3 Ergebnisse	118
2.5.3.1 Gesamträumliche Entwicklung	118
2.5.3.2 Regionale Entwicklung	121
2.5.4 Diskussion	124
2.5.5 Referenzen	125
Tabellenanhang	127
2.6 Szenarien zur Siedlungsflächenentwicklung	135
<i>Jana Hoymann, Jasper Dekkers, Eric Koomen</i>	
2.6.1 Einführung	135
2.6.1.1 Motivation und Hintergrund	135
2.6.1.2 Stand der Forschung	139
2.6.2 Material und Methoden	141
2.6.2.1 Das Landnutzungsmodell: Land Use Scanner	141
2.6.2.2 Eignungskarten	144
2.6.2.3 Berechnung regionaler Raumansprüche	145
2.6.2.4 Definition der Entwicklungsrahmen	149
2.6.2.5 Validierung des Landnutzungsmodells	152
2.6.2.6 Material	155
2.6.3 Ergebnisse	156
2.6.3.1 Validierung des Landnutzungsmodells	156
2.6.3.2 Regionale Raumansprüche für Siedlungsflächen	158
2.6.3.3 Räumlich explizite Simulation der Landnutzung	160
2.6.4 Diskussion	165
2.6.5 Danksagung	169
2.6.6 Referenzen	169
2.6.6.1 Verwendete Planungsdokumente	169
2.6.6.2 Literatur	170
2.6.7 Anhang zum Kapitel	175
2.7 Klima- und Landnutzungsszenarien in ihren Wirkungen auf den Wasserabfluss	177
<i>Tobias Conradt, Fred F. Hattermann, Hagen Koch, Frank Wechsung</i>	
2.7.1 Einführung	177
2.7.2 Material und Methoden	179
2.7.2.1 Das ökohydrologische Modell SWIM	179
2.7.2.2 Darstellung des Modellgebiets	181
2.7.2.3 Klimadatenbasis	181
2.7.2.4 Studienspezifische Modifikationen des Modells	182
2.7.2.5 Kalibrierung und Validierung	186
2.7.2.6 Simulation des Abflussdargebots unter Szenarienbedingungen	190
2.7.3 Ergebnisse	191
2.7.3.1 Veränderungen des Wasserhaushalts unter Szenariobedingungen	191
2.7.3.2 Karten des Landschaftswasserhaushalts	192
2.7.3.3 Abflussszenarien	195
2.7.4 Diskussion	200

2.7.4.1	Modelltreue und Kalibrierung in Teilgebieten	200
2.7.4.2	Interpretation der Ergebnisse	201
2.7.5	Danksagungen	203
2.7.6	Referenzen	203
2.8	Validierung von Lokalkorrekturen der Verdunstung bei den Simulationen des Wasserabflusses	211
	<i>Tobias Conradt, Hagen Koch, Fred F. Hattermann, Frank Wechsung</i>	
2.8.1	Einführung	211
2.8.2	Material und Methoden	213
2.8.2.1	Das ökohydrologische Modell SWIM	213
2.8.2.2	Darstellung des Elbeinzugsgebiets in SWIM	214
2.8.2.3	Kalibrierung	214
2.8.2.4	Bayes'sche Validierung des räumlichen Kalibrierungsansatzes	218
2.8.3	Ergebnisse	222
2.8.3.1	Stará Lhota, Úhlava	222
2.8.3.2	Žlutice (Střela)	224
2.8.3.3	Chlum Volary, Vltava	225
2.8.4	Diskussion	226
2.8.5	Danksagungen	227
2.8.6	Referenzen	228
2.9	Szenarien zur landwirtschaftlichen Landnutzung	233
	<i>Horst Gömann, Peter Kreins, Claudia Heidecke, Agnes Richmann</i>	
2.9.1	Einführung	233
2.9.2	Material und Methoden	235
2.9.2.1	Stand der Wissenschaft im Bereich der agrarökonomischen Modellierung von Landnutzungsänderungen	235
2.9.2.2	Agrarökonomische Modellierung mit RAUMIS im GLOWA-Elbe Modellverbund	236
2.9.2.3	Modellierung der landwirtschaftlichen Landnutzung	237
2.9.2.4	Implementierung des Verfahrens „Energienmais“	238
2.9.2.5	Implementierung des Stickstoffvergleichs laut Düngeverordnung	238
2.9.2.6	Szenarioentwicklung	241
2.9.3	Ergebnisse	241
2.9.3.1	Spezifizierung multipler Entwicklungsrahmen für den Agrarsektor	241
2.9.3.2	Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion und Stickstoffüberschüsse im deutschen Elbegebiet	248
2.9.3.3	Auswirkungen einer sukzessiven Reduzierung zulässiger Stickstoffüberschüsse	252
2.9.4	Diskussion	255
2.9.5	Referenzen	257
2.10	Szenarien zur Wassernachfrage großer thermischer Kraftwerke	261
	<i>Stefan Vögele, Peter Markewitz</i>	
2.10.1	Einführung	261
2.10.2	Material und Methoden	262
2.10.2.1	Allgemeine Vorbemerkungen	262
2.10.2.2	Thermische Kraftwerke im Elbeinzugsgebiet	267
2.10.2.3	Methodische Vorgehensweise	271
2.10.3	Ergebnisse	275
2.10.3.1	Vorgaben aus den nationalen Entwicklungsrahmen	276
2.10.3.2	Sektoraler Entwicklungsrahmen „Globalisierung mit unveränderter Umweltorientierung“ (A1 ⁰)	276

2.10.3.3	Sektoraler Entwicklungsrahmen „Globalisierung mit verstärkter Umweltorientierung“ (A1 ⁺)	280
2.10.3.4	Sektoraler Entwicklungsrahmen „Differenzierung mit unveränderter Umweltorientierung“ (B2 ⁰)	282
2.10.3.5	Szenario „Differenzierung mit verstärkter Umweltorientierung“ (B2 ⁺)	284
2.10.4	Diskussion	285
2.10.5	Referenzen	288
2.10.6	Anhang	289
2.11	Szenarien zur Wassernachfrage der Industrie	291
	<i>Konar Mutafoğlu</i>	
2.11.1	Einführung	291
2.11.1.1	Motivation und Hintergrund der Untersuchung	291
2.11.1.2	Vorliegende Arbeiten in Deutschland und im Elbeinzugsgebiet	295
2.11.2	Material und Methoden	298
2.11.2.1	Szenarioansatz der Untersuchung	298
2.11.2.2	Auswahl des Modellierungsansatzes	301
2.11.2.3	Datenbasis und Datenerfordernisse	303
2.11.2.4	Detailschritte der Nachfragemodellierung	305
2.11.3	Ergebnisse	310
2.11.3.1	Allgemeine Entwicklung für das Verarbeitende Gewerbe	310
2.11.3.2	Entwicklung der Wasserentnahmen bedeutsamer Branchen	311
2.11.3.3	Übertragung auf Wassernutzer im Bewirtschaftungsmodell	313
2.11.4	Diskussion	314
2.11.5	Referenzen	316
2.12	Szenarien zur Wassernachfrage der öffentlichen Wasserversorgung	319
	<i>Till Ansmann</i>	
2.12.1	Einführung	320
2.12.2	Material und Methoden	321
2.12.2.1	Simulation entnahmepunktspezifischer Oberflächenwasserfördermengen auf Grundlage modellgestützter Szenarioanalysen des kommunalen Wasserbedarfs	321
2.12.2.2	Szenariorelevante Einflussfaktoren	328
2.12.3	Ergebnisse	332
2.12.4	Diskussion	335
2.12.5	Referenzen	337
2.13	Technische Trends der industriellen Wassernutzung in Deutschland	341
	<i>Thomas Hillenbrand, Christian Sartorius, Rainer Walz</i>	
2.13.1	Einführung	341
2.13.2	Material und Methoden	341
2.13.2.1	Industrieller Wassereinsatz und Abwassereinleitung in Deutschland und im Elbegebiet	342
2.13.2.2	Analyse der Entwicklung des Wassereinsatzes in wichtigen Branchen der Verarbeitenden Industrie	344
2.13.2.3	Untersuchungsansatz zur Analyse der technischen Entwicklungen mit Auswirkungen auf den industriellen Wassereinsatz	345
2.13.2.4	Untersuchungsansatz zur Umfeldanalyse	345
2.13.3	Ergebnisse	346
2.13.3.1	Vergangenheitsentwicklung des Wassereinsatzes in wichtigen Branchen der Verarbeitenden Industrie	346
2.13.3.2	Technische Entwicklungen mit Auswirkungen auf den industriellen Wassereinsatz	350

2.13.3.3	Umfeldanalyse	360
2.13.4	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse zur Entwicklung des spezifischen industriellen Wassereinsatzes bis 2020	368
2.13.5	Referenzen	372
3	Wasserverfügbarkeit im Elbeinzugsgebiet unter Berücksichtigung des globalen Wandels – Analysen mit einem stochastischen Langfristbewirtschaftungsmodell	377
3.1	Wasserverfügbarkeit im deutschen Elbegebiet	377
	<i>Michael Kaltofen, Martina Hentschel, Stefan Kaden, Ottfried Dietrich, Hagen Koch</i>	
3.1.1	Einführung	377
3.1.2	Material und Methoden	378
3.1.2.1	Stochastische Langfristbewirtschaftungsmodelle und softwaretechnische Realisierung im WBalMo	378
3.1.2.2	WBalMo GLOWA-Elbe – stochastisches Langfristbewirtschaftungsmodell im Modellverbund GLOWA-Elbe	380
3.1.2.3	Indikatoren und ihre Anwendung in Szenarioanalysen	384
3.1.3	Ergebnisse und Diskussion	385
3.1.3.1	Vergleichende Analyse in Bezug auf die Klimaentwicklung	387
3.1.3.2	Vergleichende Analyse in Bezug auf die regionale Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung sowie die Umweltorientierung sektoraler Politiken	393
3.1.3.3	Vergleichende Analyse in Bezug auf Handlungsalternativen	394
3.1.3.4	Analyse von Wasserverfügbarkeitskonflikten auf Flussgebietsebene oder für bestimmte Nutzergruppen	398
3.1.4	Danksagung	402
3.1.5	Referenzen	402
3.2	Wasserverfügbarkeit im tschechischen Elbegebiet	405
	<i>Hagen Koch, Michael Kaltofen, Stefan Kaden, Uwe Grünwald</i>	
3.2.1	Einführung	405
3.2.2	Material und Methoden	407
3.2.2.1	Datengrundlagen für Wassernutzer und Bewirtschaftung	407
3.2.2.2	Aufbau und Struktur des WBalMo GLOWA-Elbe Tschechien	408
3.2.2.3	Varianten der Wassernutzung	410
3.2.3	Ergebnisse	411
3.2.3.1	Entwicklung Wasserbedarf	412
3.2.3.2	Vergleich der bewirtschafteten Durchflüsse in Tschechien	414
3.2.3.3	Entwicklungen der Wasserverfügbarkeit und der Wasserdefizite für Wassernutzer	416
3.2.3.4	Entwicklung der Zuflüsse nach Deutschland	417
3.2.4	Diskussion	418
3.2.5	Danksagung	419
3.2.6	Referenzen	419
3.3	Wasserhaushalt großer Feuchtgebiete im Elbe-Tiefland	421
	<i>Ottfried Dietrich, Dirk Pavlik, Susanne Schweigert, Jörg Steidl</i>	
3.3.1	Einführung	421
3.3.2	Material und Methoden	423
3.3.2.1	Basismodell WBalMo Spreewald I	423
3.3.2.2	Modellanpassung an Maßstab Gesamt-Elbe	424
3.3.2.3	Integration weiterer Feuchtgebiete in WBalMo GLOWA-Elbe	426
3.3.2.4	Szenarien und Handlungsoptionen	428

3.3.3	Ergebnisse	428
3.3.3.1	Modellanpassung von WBalMo Spreewald I an Maßstab Gesamt-Elbe	428
3.3.3.2	Integration weiterer Feuchtgebiete in WBalMo GLOWA-Elbe	430
3.3.3.3	Szenarien und Handlungsoptionen	433
3.3.4	Diskussion	439
3.3.5	Danksagung	440
3.3.6	Referenzen	441
3.4	Ökonomische Bewertung von Wasserdefiziten: ein integrierter ökonomisch-hydro- logischer Modellansatz	443
	<i>Malte Grossmann, Hagen Koch, Nele Lienhoop, Stefan Vögele, Konar Mutafoğlu, Ottfried Dietrich, Jacob Möhring, Michael Kaltofen</i>	
3.4.1	Einführung	443
3.4.2	Material und Methoden	445
3.4.2.1	Stochastische Simulation des Wassermanagements	445
3.4.2.2	Risiko und Anpassungsfähigkeit	446
3.4.2.3	Grundsätzliche Methodik für die ökonomische Bewertung	447
3.4.2.4	Überblick über die im Modell enthaltenen Wassernutzer und die verwendete Datenbasis	449
3.4.2.5	Überblick über die verwendeten Szenarien	450
3.4.2.6	Beschreibung der Bedarfs- und Bewertungsfunktionen	450
3.4.3	Ausgewählte Ergebnisse	472
3.4.4	Diskussion	476
3.4.6	Referenzen	477
4	Szenarienanalysen zur Gewässerqualität	481
4.1	Nährstoffeinträge und -frachten im Elbegebiet	481
	<i>Markus Venohr, Dieter Opitz, Horst Behrendt†</i>	
4.1.1	Einführung	481
4.1.2	Material und Methoden	482
4.1.2.1	Das Stoffeintragsmodell MONERIS	482
4.1.2.2	Datengrundlagen	484
4.1.2.3	Datenausgabe und Datenübergabe	485
4.1.3	Ergebnisse	486
4.1.3.1	Veränderungen der Nährstoffeinträge und -frachten infolge eines sich verändernden Klimas	487
4.1.3.2	Veränderungen der Nährstoffeinträge und -frachten infolge des globalen Wandels ..	494
4.1.3.3	Szenariountersuchungen zur Auswirkung der landwirtschaftlichen N-Bilanzüber- schüsse auf die Stickstoffeinträge und -frachten	497
4.1.3.4	Auswirkungen von Handlungsoptionen auf die Phosphor- und Stickstoffeinträge und -frachten	500
4.1.4	Diskussion	509
4.1.5	Danksagung	510
4.1.6	Referenzen	510
4.2	Phytoplankton und Nährstoffumsatz im Elbestrom	513
	<i>Katrin Quiel, Andreas Schöl, Volker Kirchesch, Annette Becker, Helmut Fischer</i>	
4.2.1	Einführung	513
4.2.2	Material und Methoden	515
4.2.2.1	Untersuchungsgebiet	515
4.2.2.2	Das Gewässergütemodell QSim	516

4.2.2.3	Modellaufbau „QSim-Elbe“	516
4.2.2.4	Parametrisierung	518
4.2.2.5	Kalibrierung und Validierung	518
4.2.2.6	Szenarien des globalen Wandels	520
4.2.3	Ergebnisse	523
4.2.3.1	Validierung	523
4.2.3.2	Szenarien	526
4.2.3.3	Wirkung sozioökonomischer Veränderungen	528
4.2.3.4	Wirkung reduzierter Nährstoffeinträge	528
4.2.4	Diskussion	531
4.2.5	Danksagung	533
4.2.6	Referenzen	534
4.3	Nährstoffretentionspotenziale großer Feuchtgebiete im Elbe-Tiefland	537
	<i>Jörg Steidl, Ottfried Dietrich, Matthias Rennoch, Dagmar Balla, Susanne Schweigert, Dirk Pavlik</i>	
4.3.1	Einführung	537
4.3.2	Material und Methoden	539
4.3.2.1	Modulentwicklung WabiRet	539
4.3.2.2	Testung des Moduls WabiRet in Feuchtgebietsmodellen	545
4.3.2.3	Szenariountersuchungen	547
4.3.3	Ergebnisse	547
4.3.3.1	Modelltest an den Beispielen Rhinluch und Spreewald	547
4.3.3.2	Szenarien und Indikatoren	551
4.3.3.3	Entwicklung der Nährstofffrachten aus den Einzugsgebieten der Feuchtgebiete	552
4.3.3.4	Entwicklung der Nährstoffretention	554
4.3.4	Diskussion	556
4.3.5	Danksagung	558
4.3.6	Referenzen	558
4.4	Wirkung und Kosten von Maßnahmen zur Reduktion der abwasserbedingten Nährstoffemissionen im deutschen Elbegebiet	561
	<i>Christian Sartorius, Thomas Hillenbrand, Rainer Walz</i>	
4.4.1	Einführung	561
4.4.2	Material und Methoden	562
4.4.2.1	Herkunft der Daten	562
4.4.2.2	Umsetzung der Entwicklungsrahmen (Szenarien)	564
4.4.2.3	Berechnung von Nährstoffemissionen, Vermeidungspotenzialen und Kosten für verschiedene Maßnahmen	565
4.4.3	Ergebnisse	574
4.4.3.1	Nährstoffemissionen – Referenzzustand und Reduktionspotenzial	574
4.4.3.2	Einfluss der regionalen Entwicklungsrahmen	578
4.4.3.3	Regionale Unterschiede	580
4.4.4	Diskussion	585
4.4.4.1	Vergleichende Bewertung der Ergebnisse	585
4.4.4.2	Übergang zu einer dezentralen Abwasserentsorgung	586
4.4.5	Danksagung	588
4.4.6	Referenzen	588

5	Szenarien und Wirkungsanalyse – eine integrative Schlussbetrachtung für das Elbeeinzugsgebiet	591
	<i>Bernd Hansjürgens, Frank Wechsung, Peggy Gräfe</i>	
5.1	Charakter und methodische Besonderheiten	591
5.2	Hauptbetroffene des Klimawandels und Kosten	593
5.3	Ausblick: Handlungsoptionen untersuchen	595
5.4	Referenzen	596
	Abbildungsverzeichnis	597
	Tabellensverzeichnis	609